# 目　录

# 前　言

武汉岩海公司在听取广大客户意见和结合国内目前基桩检测市场需求情况的基础上，历时半年推出了此款全新基桩动测仪器 RS-1616W(L)。RS-1616W(L)凝聚了研发和实验方法人员的心血和智慧，但新仪器的成功推出更是离不开广大新老客户支持。在仪器研发期间很多客户从实际应用角度给研发人员提供了非常宝贵也非常具有实际应用的意见和建议，在此编者代表公司向这些客户表示衷心的感谢。希望广大客户今后在仪器使用方面能够提出更多好的意见和建议，使得 RS 系列仪器更能以最好的性能回报广大的客户朋友。

本说明书主要分为四个部分讲解，第一章主要介绍了 RS-1616W(L)的使用，仪器的使用方法和各项参数含义都做了讲解，如果客户朋友们在今后的使用过程中还有不清楚之处，请致电我公司。第二章、第三章和第四章分别从原理、公式推导和软件使用上作了详细讲解，这三部分和前期说明书上所述相同。

由于该说明书是针对 RS-1616W(L)的第一次编写，可能会存在错误之处，希望广大客户在阅读使用后不吝指出，在下一次编写出版时我们将及时纠正。同时欢迎广大新老客户致电公司免费索取资料。

公司总机：027-8733 9545~9550  共六部

技术支持：806 分机

E-mail：author22@163.com

网址：www.rocksea.net.cn

编者：谢　涛

杨仁禄

马春波

# Chapter 1 RS-1616W(L) 基桩动测仪

# 技术参数及使用手册

## §1.1 RS-1616W(L)基桩动测仪简介

武汉岩海公司在听取广大客户意见和结合国内目前基桩检测市场需求情况的基础上，历时半年全新推出了此款全新基桩动测仪器 RS-1616W(L)。RS-1616W(L)在设计上不但继承了我公司前继产品 RS-1616K（P）和 RS-1616K（S）优秀的设计理念，并且 RS-1616W(L)在核心部件、外观和操作上采用了目前最为先进的技术，力争在主机硬件和操作方法上都实现了新的突破，使得现场操作更为简单、直观。为检测工程界的朋友们提供了一款在检测效率和实际使用性能更上一层楼的全新测试仪器。

RS-1616W(L)基桩动测仪主要应用于**低应变基桩完整性检测**。该仪器采用 ARM920T 内核作为仪器核心微处理器，并采工业化的 Win CE 操作系统。仪器在输入接口上采用了**标准触摸屏输入**和自定义键盘输入，并设有加速度和速度两个通道。主机内置 12V/2Ah 高性能充电锂电池，一次充电可连续工作时间大于 7 小时。230×170×70(mm)，1.1Kg 的体积和重量将使您工作起来更加得心应手。

### 主要性能技术参数

1、操作系统： WINCE 操作系统。ARM920T 内核。

2、系统时钟： 标称工作频率 400MHz（内部)。外部总线频率 100/133MHz。

3、显示方式： 24 位标准真彩色，640X480 分辨率，5.6 寸 TFT 标准液晶屏。

4、输入接口： 标准触摸屏输入 和 自定义键盘输入。

5、存储方式： SD 卡和电子盘共同。最小存储文件数 25 万，正常可存储文件数大于 50 万。

6、转存方式： 外部接口通过 USB 转存。支持 U 盘热插拔。

7、采样长度： 512 点、1024 点、2048 点，三档可调。

8、触发方式： 通道触发、外触发、稳态触发。

9、采样间隔： 16～32767μs 连续可调。

10、采样分辨率：16 位 AD。

11、内置电池： 12V/2Ah 充电锂电池 可连续工作时间大于 7 小时。

12、外置电源： DC15V4A 充电器

13、工作温度： -10~50℃

14、定点放大： 4 倍

15、体积重量： 230×170×70(mm)，1.1Kg

# §1.2 用 户 须 知

尊敬的朋友，谢谢您的惠顾，在使用岩海产品前，务请您仔细阅读用户手册，凡在购置本公司产品所签合同中未曾涉及的使用规定，均以相应用户手册内容为准。

1.1.1） **安全规定：**

1、岩海产品绝大部分以直流供电为主，交流供电为辅，在接通交流市电使用本产品之前，请将机壳接地端接地；

2、本公司产品应在规定的电压范围内使用，市电 AC220V±10%(个别 AC380V±10%)、直流电 DC12V±5%（部分仪器 DC6V±5%），否则极易引起仪器故障；

3、工程测试，测试者应注意仪器及其附属物坠落伤人，或摔坏仪器；相关人员还应注意自身安全，进入工程现场应配戴安全帽及其它防护用品。

1.1.2） **方法及标准的引用：**

1、相应用户手册中涉及的有关测试方法与国家标准，均系普及性说明与引用，准确的法定描述和引用，请直接查阅有关技术资料、规程规范和国家标准，本公司仅对销售产品的质量符合本企业标准负责。任何使用不当引起的仪器故障或其它，本公司概不负责；

2、本公司产品中涉及的各种方法，国家有相应规范规程者，以该规范规程为准绳；没有规范规程或超出规范规程内容者，仅供参考；争议较大的测试方法与测试内容亦仅供参考，本公司对方法之不当使用概不负责。

武汉岩海公司

二OO九年七月

# §1.3 RS-1616W(L)基桩动测仪使用手册

## 1.3.1） 仪器外观说明

**1. 主机正面**（如图 1.3.1）




图 1.3.1 主机正面

主机正面的面板主要由：显示窗口、方向键、采集和存储快捷键、电源开关以及充电指示灯构成

**F1 键**：采样快捷键，当基本参数设置完成后，按下此键即可进行采样；

**F2 键**：存储快捷键，当采样完成后，按下此键即可对当前采集数据进行保存；

**方向键**：方向键由上下和左右四个键位构成，可在当前工作状态下进行上下和左右移动使用；

其中上键同时也是参数设置，下键是单次采样。

**充电指示灯**：接上直流电源适配器后，充电指示灯亮，表示动测仪机内电池正在（大电流）充电

**电源开关**：电源开关向下压下表示“开”，接通动测仪电源；在开机状态下向下压下，键位弹起表示“关”，切断动测仪电源。

**2、主机前面板**（如图 1.3.2）




图 1.3.2 主机前面板

主机前面板主要由加速度计接口、速度计接口、电源接口以及 USB 接口组成。

**加速度**：低应变反射波法的加速度传感器接口；

**速　度**：低应变反射波法的速度传感器接口；

**电　源**：直流稳压电源输入接口；

**USB 口**：USB 移动存贮器接口。

**3、主机背面**（如图 1.3.3）



图 1.3.3 主机背面

**电池盖：**内置 12V/2Ah 高性能充电锂电池，当需要更换电池时，打开此电池盖，即可取出机内电池。

**4、主机侧面**（如图 1.3.4）



图 1.3.4 主机侧面

**扣环：**主机两侧均设有背带扣环两个，用以连接主机和背带。

**5、电池与充电**

RS-1616W(L) 内置 12V/2Ah 高性能充电锂电池，正常使用时，锂电池的充放电次数可达 500 次或更多；但是，过度放电以及不正确的充电方法会减小锂电池的使用寿命。锂电池的充电与放电注意事项如下：

1、新的锂电池在前三次充电时，充电前必须将电池能量放完（液晶屏右上方电池能量指示只剩下一格或消失），并且每次充电时间不 少于 12 小时；

2、充电分为二个阶段，①大电池充电，②小电流充电。在大电流充电时，动测仪面板上的充电指示灯被点亮；在小电流充电时，充电指示灯熄灭。充电时间依电池的放电深度而变化，一般为大电流充电 4～8 小时，小电流充电 3 小时。只有在二个充电过程都完成后，电池才能充满。建议用户在晚上给电池充电（充一晚上）。

3、锂电池的工作（放电）温度范围为-20℃～+60℃：充电温度范围为 0℃～+45℃；偏离其温度范围会严重损伤锂电池。因此，务必注意，在炎热的夏天，决不能在太阳光的曝晒下给锂电池充电。

4、动测仪内部装有电池过放保护电路。当电池能量不够时，保护电路会自动切断电池与系统主回路的连

接（保护电路仍由电池供电），从而避免电池过度放电。但是，由于保护电路也会消耗电池电能（尽管很小），因此，当电池能量不够时，用户不可以长时期将电源开关置于“开通”状态，以避免电池过度放电而损坏。

5、当外接直流电源适配器连接好后，动测仪内部的充电电路便开始对电池充电，充电完毕后自动断开。电源适配器可以同时给电池充电和给动测仪供电。

直流电源适配器（图 1.3.5）



图 1.3.5 直流电源适配器

直流电源适配器的交流输入电压范围为 220V±10%，直流输出功率为 15V-4A。
电源适配器的用途是：(1）给机内锂电池充电；(2）给动测仪供电。

### 1.3.2） 仪器操作指南

1.主机的运行

正确联接好测试系统，打开电源开关，开机后进入 Windows CE 操作界面，如图 1.3.6 所示

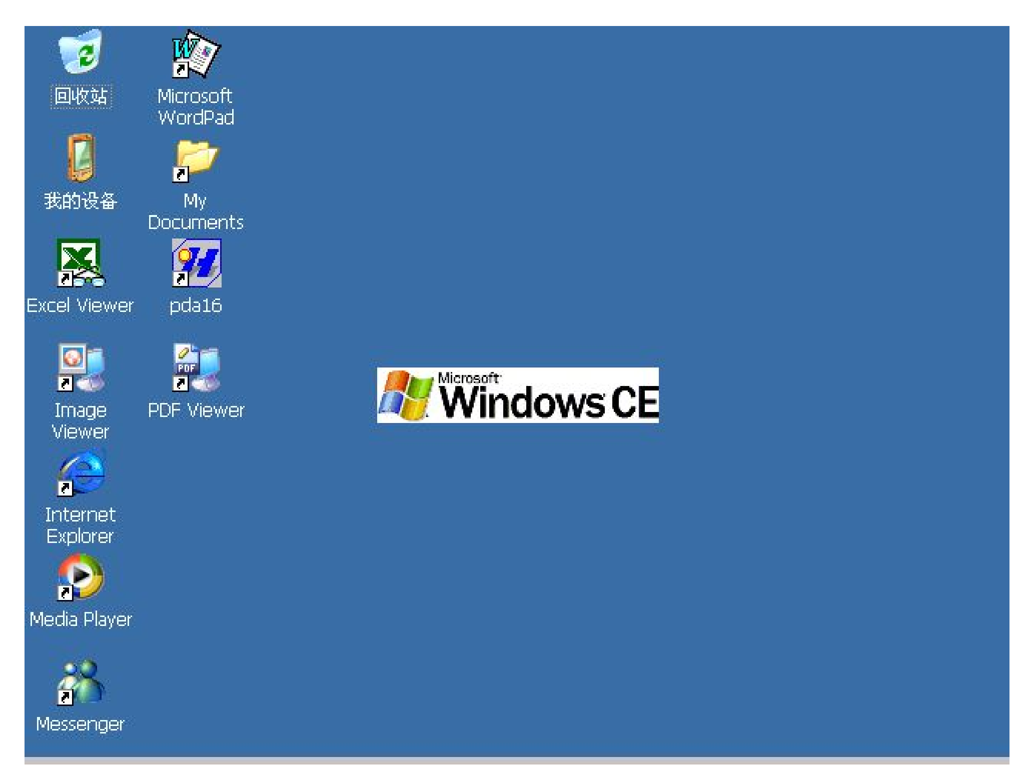



图 1.3.6Windows CE 操作界面

选择 Pda16，双击图标。进入主机采集界面（开机时，仪器可以自动进入采集界面）。如下图 1.3.7 所示

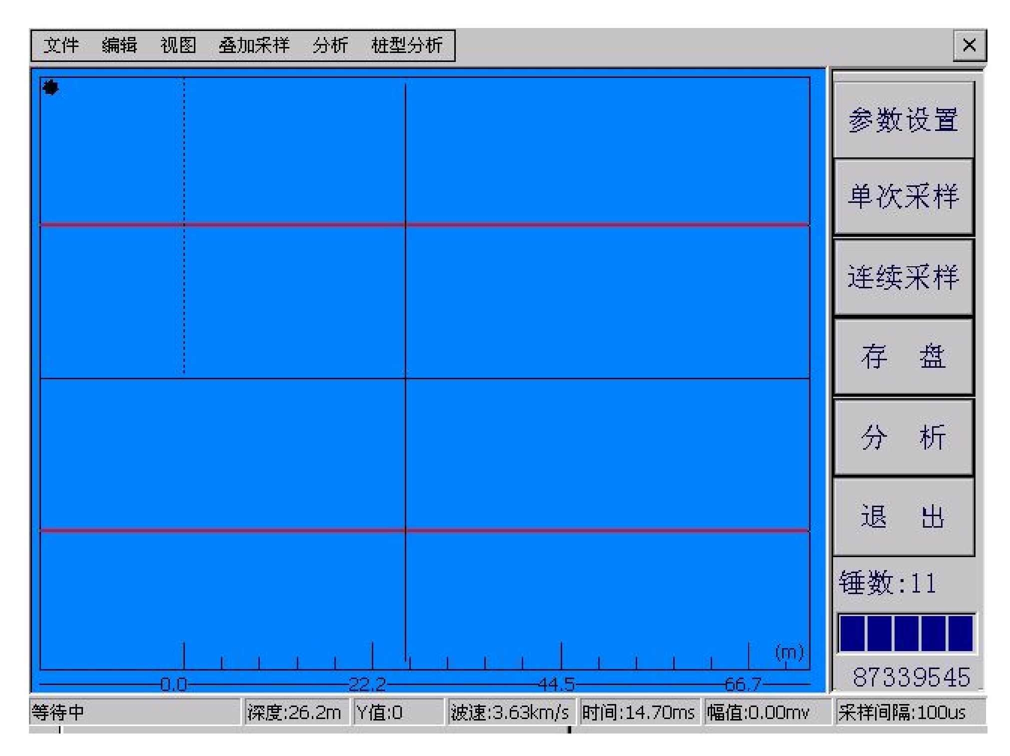



图 1.3.7 RS-1616W(L)主机采集界面

## 2.菜单栏功能说明

RS-1616W(L)主机菜单栏主要包括文件、编辑、视图、叠加采样、分析和桩形分析 6 项菜单，如图 1.3.8。各菜单主要功能和包括内容分述如下。

文件 编辑 视图 叠加采样 分析 桩型分析

图 1.3.8 菜单栏

【文件】菜单

RS-1616W(L)主机的【文件】菜单主要功能是对用户采集的数据进行输出、保存和转存，主要包括打开、保存、文件操作和退出等，【文件】菜单，如图 1.3.9

a. 打开。打开数据文件

b. 保存。保存当前采样的波形

c. 文件操作。对工地名的数据操作，

把数据拷贝至 U 盘，或者删除文件夹下面的数据。

d. 帮助主题。

e. 关于 Pda16. 版本信息

f. 退出。退出程序




图 1.3.9 【文件】菜单

【编辑】菜单

编辑菜单主要功能主要是为客户后期分析测试数据提供一系列分析编辑命令，主要包括全部恢复、波形的扩展和压缩、波形反向和指数放大等功能，【编辑】菜单，如图 1.3.10

a. 全部恢复。恢复所有通道的数据

b. 波形扩展。扩展当前通道的波形

c. 波形压缩。压缩当前通道的波形

d. 波形前清。当前通道光标以前的数据清零

e. 波形后请。当前通道光标以后的数据清零

f. 剔除直流。剔除当前通道数据的直流部分

g. 波形反向。当前通道的波形反向

h. 数据平滑。平滑当前通道的波形数据

i. 指数放大。对当前通道的波形进行指数放大

图 1.3.10 【编辑】菜单

j. 自动识别桩顶。程序自动判断桩顶

k. 启用自动反向。自动对屏幕上面的波形进行反向

【视图】菜单

视图菜单主要用来改变当前采样点数、切换扩展菜单和屏幕区数的选择，【视图】菜单，如图 1.3.11

a. 显示 512 点。屏幕上面显示 512 点采集数据

b. 1024 点显示。屏幕上面显示 1024 点采集数据

c. 显示采样。右边的控制栏显示采样控制对话框

d. 显示分析。右边的控制栏显示数据分析对话框

e. 显示叠加。右边的控制栏显示叠加采样控制对话框

f. 显示一道。采样时屏幕上面显示一道数据波形

g. 显示两道。采样时屏幕上面显示两道数据波形

h. 显示三道。采样时屏幕上面显示三道数据波形

i. 显示四道。采样时屏幕上面显示四道数据波形

j. 显示有效值。设备计量时候，输入有效的正弦信号，程序读出其有效值。

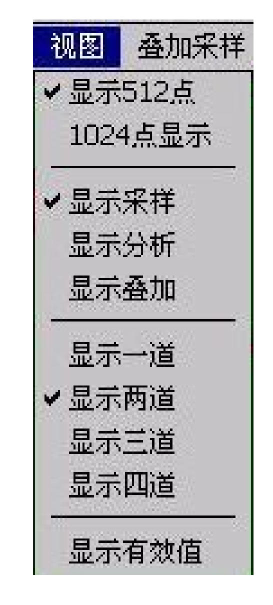



图 1.3.11 【视图】菜单

【叠加采样】菜单

该菜单主要由叠加采样、回放模式和删除等功能组成。叠加采样是一种值得推荐的采样方式，叠加采样有利于消除干扰，突显桩土系统的有用信息；叠加采样时最多可叠加 100 锤，其间各锤的信息均被置于

内存中，以便在采样完毕后信号回放时使用；叠加信号在屏幕最下方的区间显示。【叠加采样】菜单，如图 1.3.12

a. 叠加采样。进入叠加采样界面

b. 进入回放模式。叠加采样完成后进入回放模式

c. 回放上翻页。回放过程中，看前面一页

d. 回放下翻页。回放过程中，看后面一页

e. 退出回放模式。退出回放模式

f. 剔除。删除认为不好的波形，叠加道数据同时变化




图 1.3.12 【叠加采样】菜单

【分析】菜单

该菜单主要包括频域分析、数字积分、数字微分和数字滤波，其功能主要用于信号的后期分析和处理。分析菜单，如图 1.3.13

a. 频域分析。对当前通道的数据做频谱分析

b. 数字积分。对当前通道的波形进行数字积分

c. 数字微分。对当前通道的波形进行数据微分

d. 数字滤波。对当前通道的波形进行数字滤波。

数字滤波分为低通，高通，带通和带阻四种模式，

我们做低应变的时候一般选择低通滤波。




图 1.3.13【分析】菜单

【桩形分析】菜单

该菜单所包括选项主要用于对基桩完整性检测的最终分析和结论。主要选项包括设置桩长、设置波速和缩颈、扩颈、断桩及离析等等。【桩形分析】菜单，如图 1.3.14

a. 设置桩长。设置桩的估计长度

b. 设置波速。设置桩的估计波速

c. 桩形分析。对当前波形的数据进行桩形分析，

同时进入分析界面

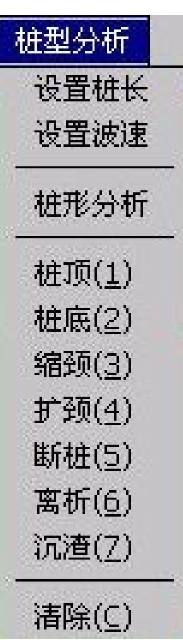
e. 桩顶。设置当前通道当前位置为桩顶

f. 桩底。设置当前通道当前位置为桩底

g. 缩颈。设置当前通道当前位置为缩颈

h. 扩颈。设置当前通道当前位置为扩颈

i. 断桩。设置当前通道当前位置为断桩



j. 离析。设置当前通道当前位置为离析

k. 沉渣。设置当前通道当前位置为沉渣

图 1.3.14 【桩形分析】菜单

**3. 控制栏功能说明**

进入主机采集界面后控制栏默认设置为采样控制对话框，如图 1.3.15。当然在不同的阶段您也可以根据自己的需要通过视图菜单，将控制栏设置为数据分析对话框或者叠加采样控制对话框。

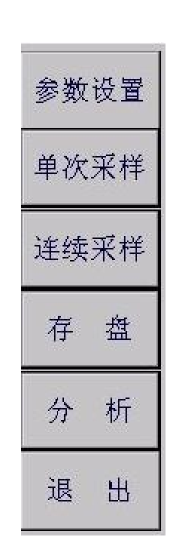



图 1.3.15 控制栏（采样控制对话框）

**3.1 采样控制栏**

运用 RS-1616W(L)基桩动测进行基桩低应变桩身完整性检测，我们只需通过如下步骤既可完成数据采集工作：**参数设置→连续采样（或单次采样）→存盘→分析**。

**3.1.1 参数设置**

点击采样控制对话框中的参数设置选项，弹出如下窗口，

如图 1.3.16。在参数设置选项内有基本参数、其它参数和时间三个设置内容，可进行参数的基本设置、面板颜色调整和时间的修改。

参数设置
基本参数 | 其他参数 | 时间
工程名称: mmmm　采样间隔: 100 us
触发电平: 31 mv　时 间: 2009-6-9
采样长度: 1 K
采样通道: 速度
触发方式: 速度通道
采样数据预处理: ☑ 加速度自动积分 ☑ 波形自动反向 ☐ 自动低通滤波 Hz
确 定　取 消

图 1.3.16 参数设置

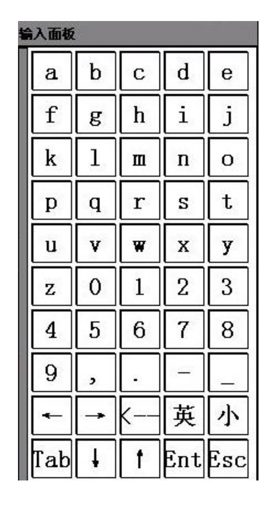



图 1.3.17 输入面板

3.1.1.1 基本参数：共包含工地名称、采样间隔、触发电平、采样长度、时间、采样通道、触发方式和采样数据预处理等 8 项设置内容。

**工程名称：**测桩工地名称，触摸工地名称选项窗口将弹出输入面板，如图 1.3.17，可进行工地名称输入和修改。目前为了方便现场操作，工地名不支持汉字，但是可以退出采集程序，自己修改工地名。

**采样间隔：**设置采样数据的采样的时间间隔。单位是微秒，一般建议值是桩长(桩长单位为米，采样间隔的单位是微秒)的两倍。具体的计算方法，说明书理论部分有讲解。

**触发电平：**指当信号值达到多少开始记录信号。一般选择 31mv 这档。可以根据现场环境噪声的大小，适当的增加或者减小触发电平。

**采样长度：**即采样波形的点数，有 0.5K，1K，2K 三种选择，一般建议现场采样，使用 1K 的数据长度。
**时　　间：**设置当前数据采集时间。
**采样通道：**根据使用的传感器类型，选择对应的采样通道。有速度通道、加速度两个通道或或者两者同时使用。
**触发方式：**设有稳态触发、优先触发、速度通道和加速度通道。依据使用的传感器类型选择相对应的触发方式，即选用加速度传感器则选择加速度通道，选用速度传感器则选择速度通道。稳态触发用于仪器计量使用。
**采样数据预处理：**有加速度自动积分、波形自动反向和自动低通滤波三项供选择。加速度自动积分：采样时，自动对采集的波形进行积分后显示；波形自动反向：采样时，对波形自动反向后显示；自动低通滤波：采样时，自动对采集的波形进行滤波后显示。一般不建议打开此项，如打开。滤波值最小不能低于 1500Hz。
3.1.1.2 其它参数：该项主要用于采集窗口颜色显示设置、文件保存位置和文件命名方式。如图 1.3.18
**颜色选择：**背景色：主要用于修改当前测试系统的背景颜色，用户可以根据天气情况，以及自己的喜好，选择合适的背景颜色。让现场得到最好的可视效果；按钮色：主要用于修改屏幕右边控制栏字体颜色，根据天气情况，以及自己的喜好，选择合适的按钮颜色。让现场得到最好的可视效果；曲线色：主要用于修改信号颜色和基线颜色。
**保存位置：**测试数据保存位置的选择，可保存在 SD 卡上或电子盘上。保存在 SD 卡。采集的数据保存在 SD 卡上。数据的位置位于 SDMEM\DATA\工地名，以工地名命名的文件夹下面。最少可以保存 25 万根桩的数据。保存在电子盘。采集的数据保存在电子盘上。数据位于 NandFlash\DATA\工地名，以工地名命名的文件夹下面。电子盘大约可以保存 4000 根桩的数据。电子盘的读写速度比较快，但是容量有限。
**命名方式：**数据存盘的时候，文件命名方式。目前设置了两种，以名称自动加一命名和当前时间命名。自动加一命名是按照前一个存盘的文件名最后一个数字自动加一，如果文件名的最后一位不是数字的话，就在文件名后面加一位，最后一位为 1，如果按时间命名的话，就是按照存盘的系统时间命名，格式是月-日-小时-分-秒。小时是 24 小时制。当然您也可以根据自己的需要来命名。

3.1.1.3 时间：对测试系统时间进行修改。如图 1.3.19




图 1.3.18 其它参数




图 1.3.19 时间

4 信号采样

在基本参数设置好之后，点击确定即可进行信号的采样工作。采样方式有**单次采样**和**连续采样**两种方式。单次采样是指按一次采样键采样一次；连续采样是指按一次采样键后采样多次（连续采样），直至用户中断。连续采样方式用于反射波法测桩，将使现场测试简便和快捷。

4.1 以单次采样为例，选择单次采样，如图 1.3.20

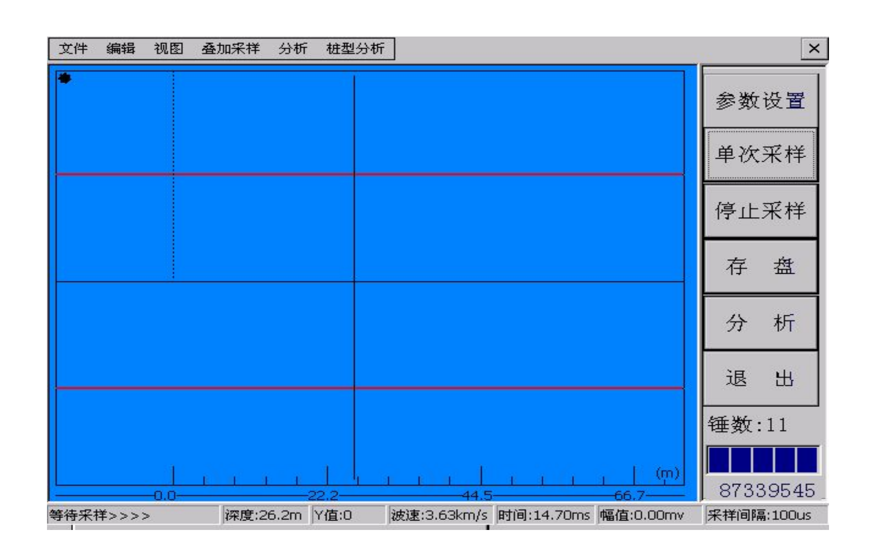



图 1.3.20 单次采样界面

屏幕的底部出现 “等待采样>>>>” 的字体。 这时，给一个激振源信号，得到数据波形，如图 1.3.21，

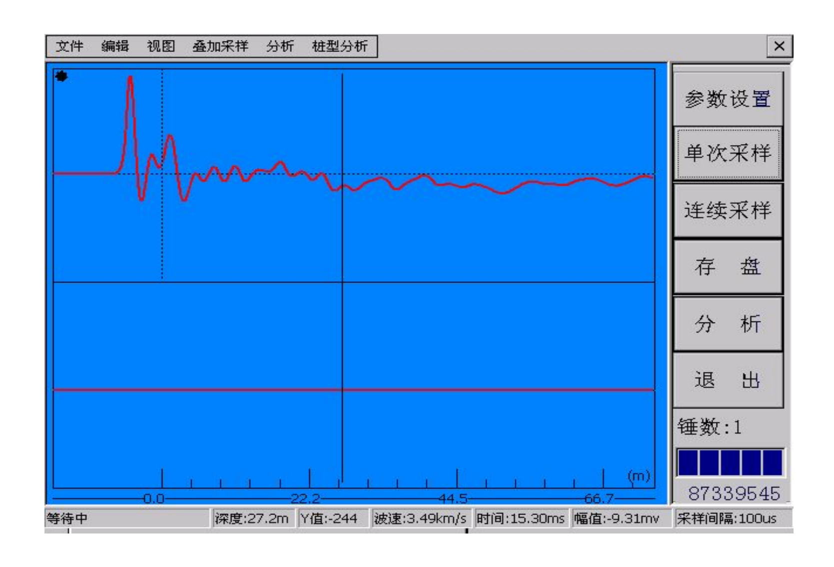



图 1.3.21

如此重复上述步骤操作，用户直至采集到合适信号。

4.2 存盘

待采集到合适信号后，既可完成测试，将所测数据进行存盘，如图 1.3.22。存盘命名方式如 3.1.1.2 所述，可在命名自动加一和按时间命名存储之间自由切换。

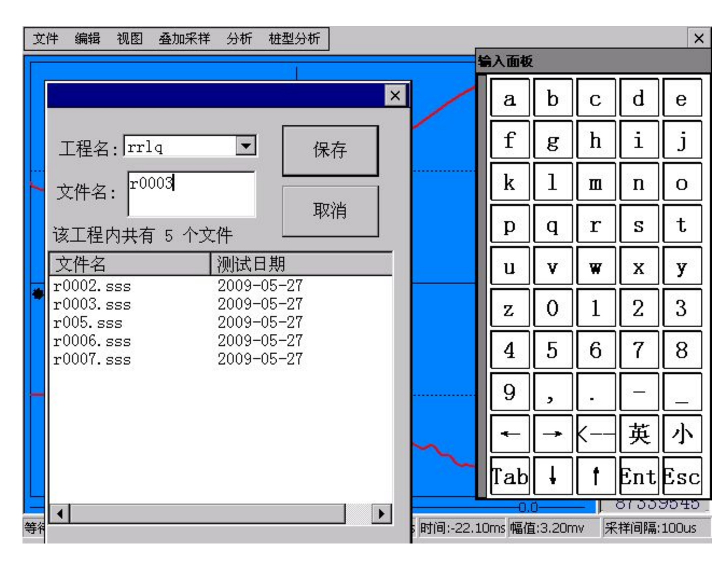



图 1.3.22 存盘界面

5、分析

RS-1616W(L)一如既往的为客户保留了机内测桩分析功能，使得用户在第一测试时间即可对所测基桩进行桩身完整性评测。

待数据存储完成后，选择右侧菜单栏中的分析功能，进入分析菜单栏，如图 1.3.23

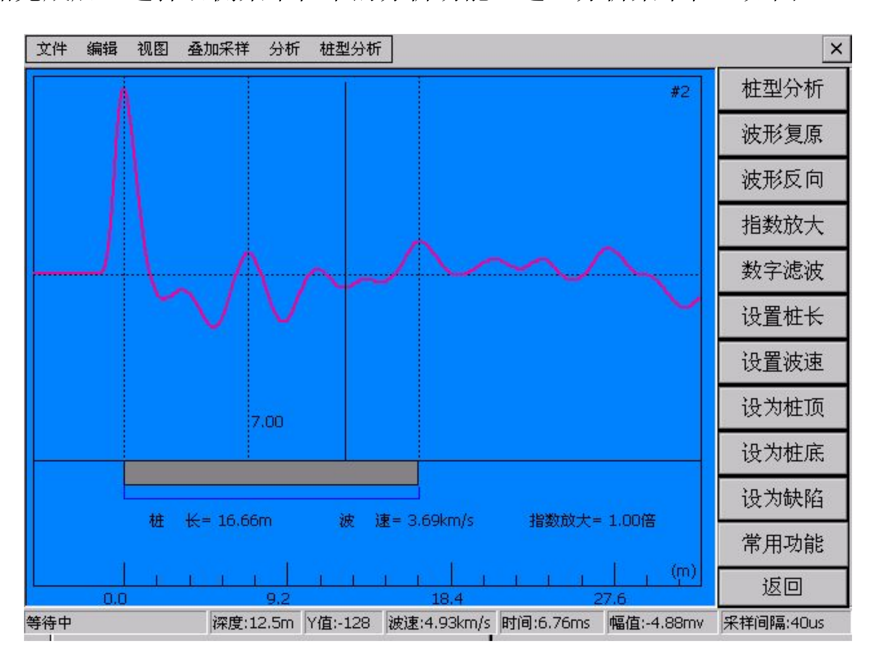



图 1.3.23 分析菜单栏及其界面

分析菜单栏主要包含桩型分析、波形复原、波形反向、指数放大、数字滤波、设置桩长、设置波速、设为

桩顶、设为桩底、设为缺陷和常用功能等。

**桩型分析：**对所测信号自动进行分析，可显示桩长、波速和指数放大等信息；

**波形复原：**对分析处理后的信号进行复原；

**波形反向：**对当前窗口显示的波形，进行反向显示；

**指数放大：**将当前工作区内的波形进行指数放大显示，点击指数放大功能，弹出指数放大参数设置窗口，，输入指数放大倍数即可，如图 1.3.24

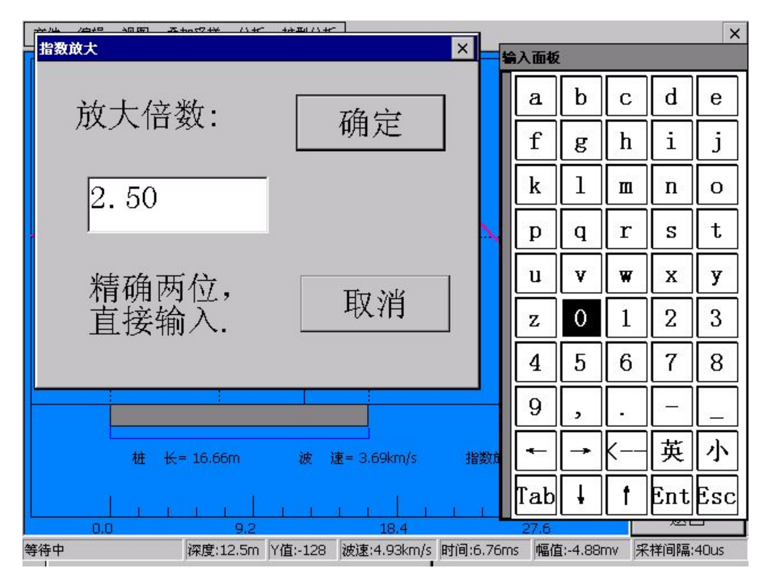



图 1.3.24 指数放大窗口

**数字滤波：**该处数字滤波包含低通滤波、高通滤波、带通滤波和带阻滤波四项。点击数字滤波功能键，弹出数字滤波显示窗口，依据传感器类型和信号分析要求，输入相应截止频率即可。数字滤波显示窗口如图 1.3.25 所示，




图 1.3.25 数字滤波窗口

低通滤波：滤去测试信号中的高频噪声以及高频干扰信号，低应变测试中常选用低通滤波。

高通滤波：滤去测试信号中的低频噪声以及低频干扰信号。

带通滤波：即低通滤波和高通滤波组合使用，只让某一允许特定范围内的频率通过，滤去此频率之外的高频或低频信号。

带阻滤波：即滤去某一特定范围内的频率，但该频段范围之外的上限截止频率和下限截止频率容许通过。

**设置桩长：**对测试信号进行长度设置，通过此设置，可计算当前应力波波速 V。点击设置桩长功能，弹出设置桩长窗口，输入桩长即可，如图 1.3.26

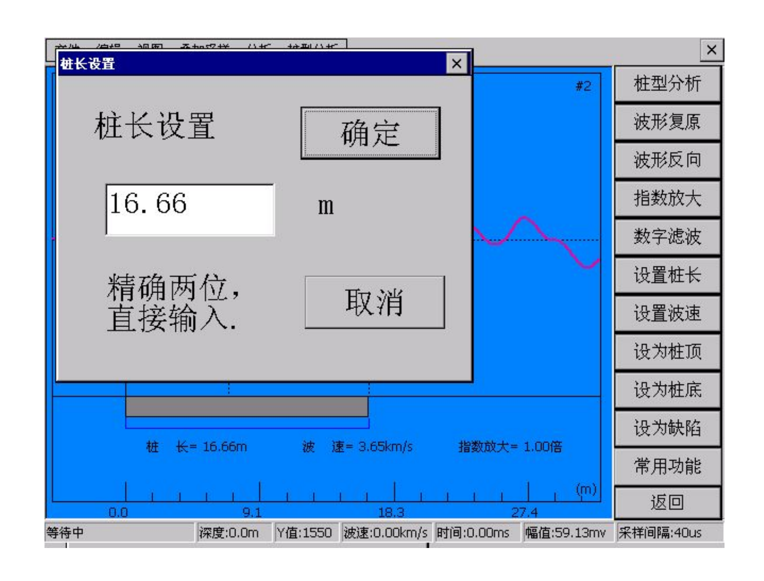



图 1.3.26　设置桩长窗口

**设置波速：**对测试信号进行应力波波速设置，通过此设置，可计算当前桩身长度 L。点击设置波速功能，弹出设置波速窗口，输入波速即可，如图 1.3.27

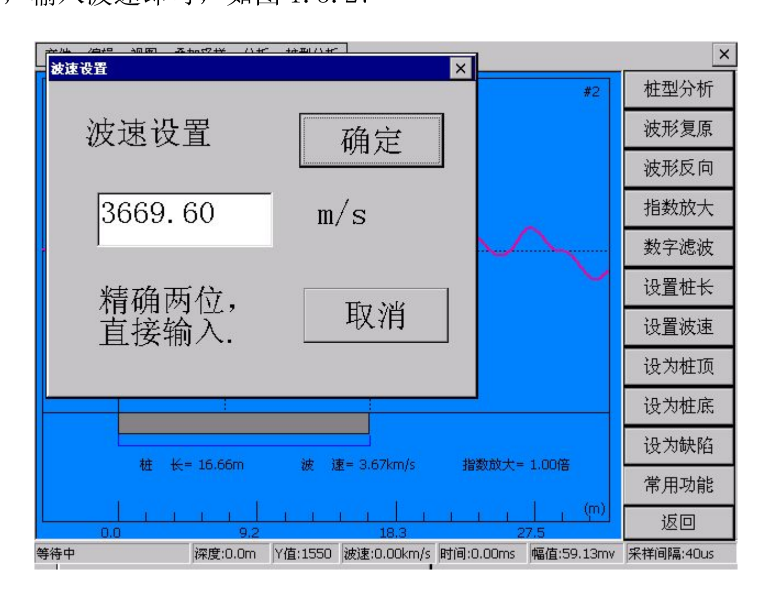



图 1.3.27　设置波速窗口

**设为桩顶：**移动竖线光标至桩头信号处（入射波波峰处），点击设为桩顶，桩头信号处画下桩头竖线（虚线）标记；

**设为桩底：**移动竖线光标至桩底反射信号处，点击设为桩底，桩底反射信号处画下桩底竖线（虚线）标记；同时在信号波形下方画出桩身模型。同时在桩身模型下显示出桩长、波速和指数放大等信息。

**设为缺陷：**点击波形缺陷位置处，在该处出现竖线光标，点击设为缺陷，波形缺陷位置处画下缺陷竖线（虚线）标记并标示出缺陷所在位置的长度。如图 1.3.28 所示

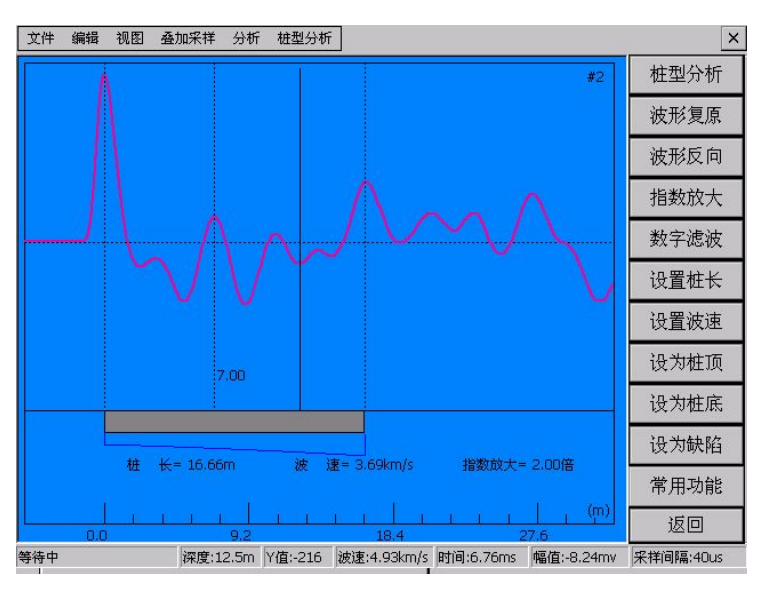



图 1.3.28

6、常用功能

RS-1616W(L)将后期常用的一些基本功能集中放在了这里，使您可以在更短的时间内，找到并完成自己想要实现目的。

常用功能主要包括打开文件、文件操作、显示一道、显示二道、显示三道、显示四道、显示 512 点、显示 1024 点、波形扩展、波形压缩和叠加采样能功能。

**打开文件：**打开保存在主机内前期存储的信号，并显示在波形显示窗口内。点击打开文件功能，进行工地和文件的选择即可，如图 1.3.29 所示

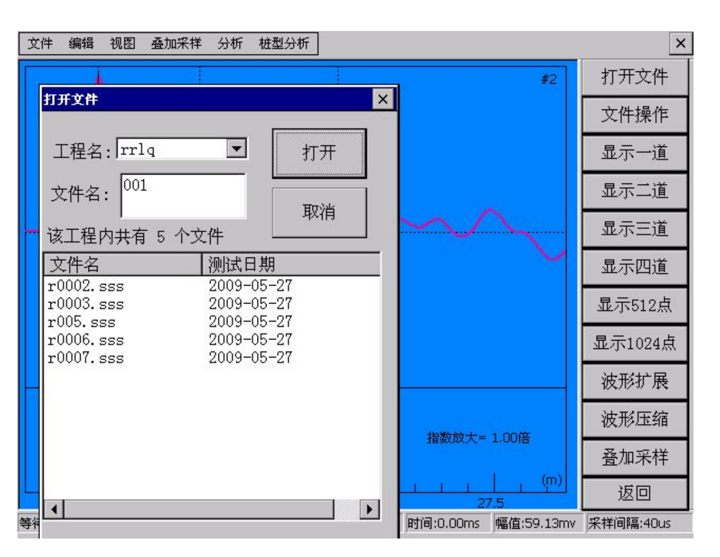


图 1.3.29　打开功能窗口

**文件操作：**在此您可将自己所测试的文件拷贝到移动存储器 U 盘或 SD 卡上，并将不需要的文件进行删除。点击文件操作，弹出文件拷贝窗口，选择相应文件点击确定即可。如图 1.3.30 所示

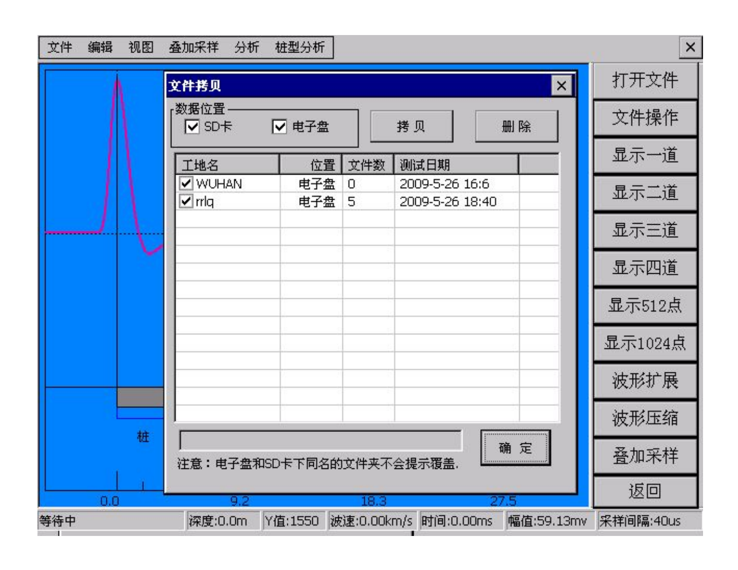



图 1.3.30 文件操作窗口

**显示一道：**即将当前屏幕区数改为一道，波形显示窗口只显示一道信号采集标记。如图 1.3.31 所示

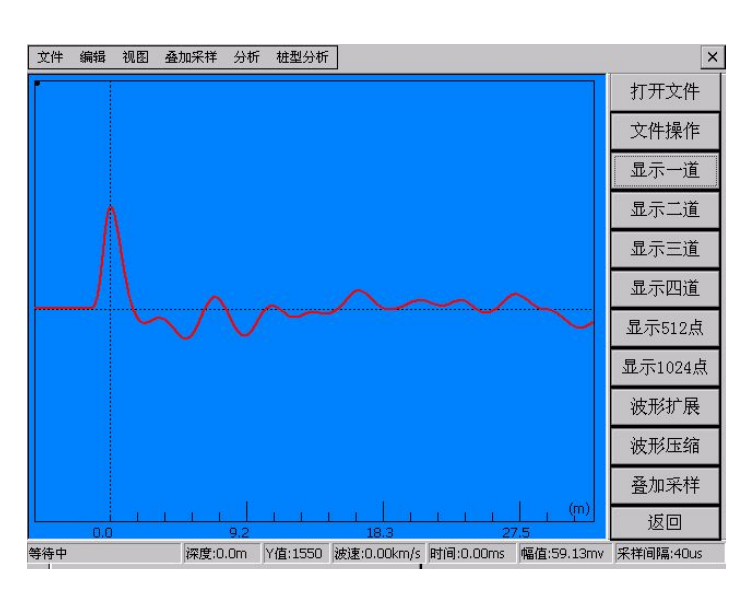



图 1.3.31　显示一道窗口

**显示二道：**即将当前屏幕区数改为二道，波形显示窗口显示为二道信号采集标记。如图 1.3.32 所示





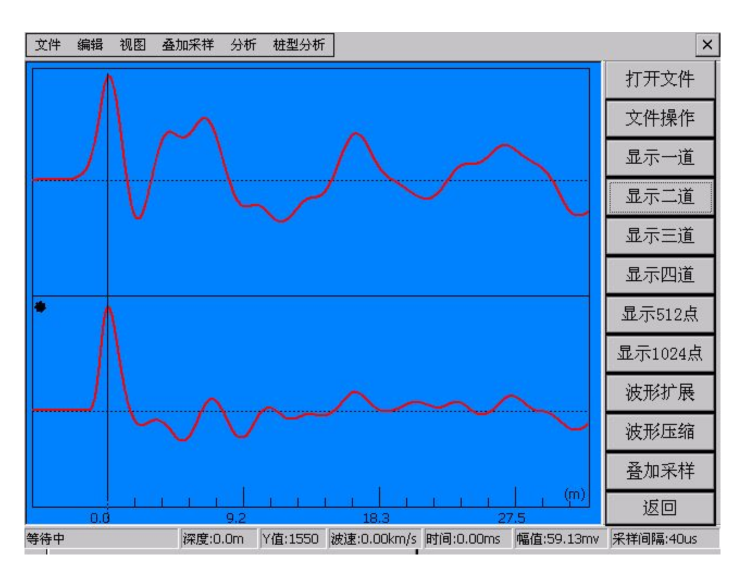



图 1.3.32　显示二道窗口

**显示三道**：即将当前屏幕区数改为三道，波形显示窗口显示为三道信号采集标记。如图 1.3.33 所示

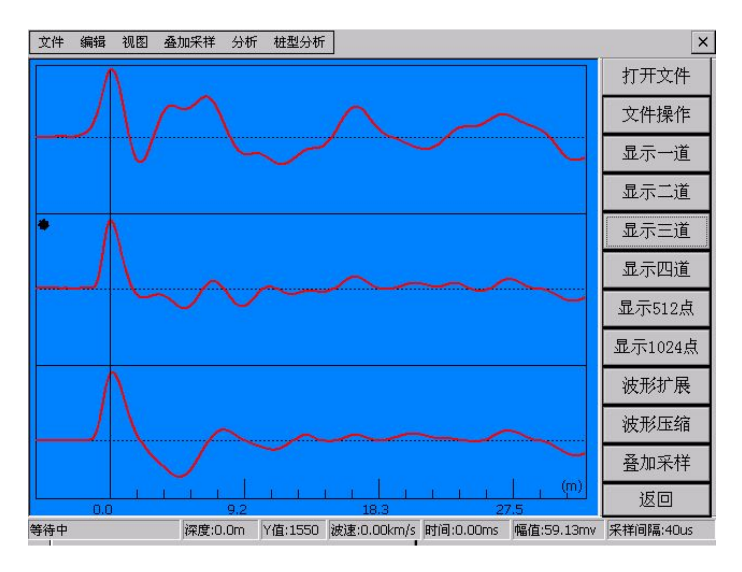



图 1.3.33　显示三道窗口

**显示四道**：即将当前屏幕区数改为四道，波形显示窗口显示为四道信号采集标记。如图 1.3.34 所示

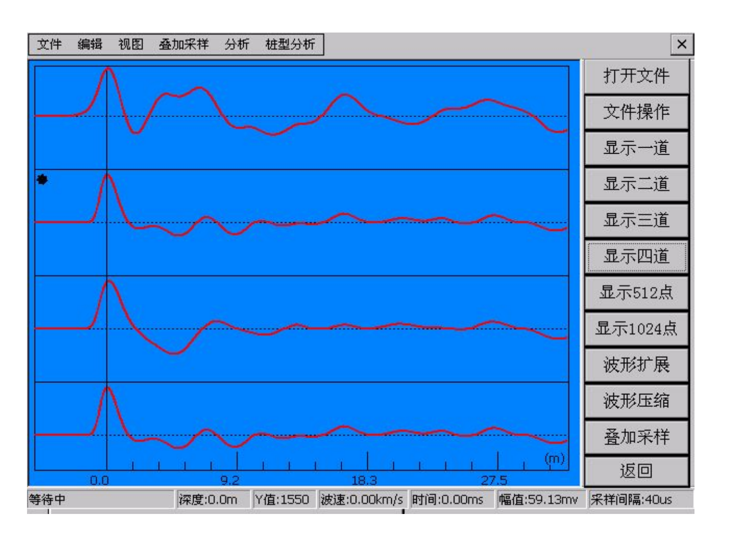




图 1.3.34　显示四道窗口

**显示 512 点：**在屏幕上显示的是对前 512 点加速度信号进行数值积分后的速度信号（后 512 点加速度信号被剔除）。

**显示 1024 点：**在屏幕上显示的是对整个加速度信号进行数值积分后的速度信号。一般用“1024 点积分”。

**波形扩展：**即对当前区数内的波形进行展开处理。

**波形压缩：**即对当前区数内的波形进行压缩处理。

**叠加采样：**是值得推荐的一种采样方式；叠加采样有利于消除干扰，突显桩土系统的有用信息；叠加采样时最多可叠加 100 锤，其间各锤的信息均被置于内存中，以便在采样完毕后信号回放时使用；叠加信号在屏幕最下方的区间显示。

选择叠加采样功能，弹出如图 1.3.35 叠加采样窗口，点击“是”即可开始叠加采样，点击“否”推出叠加采样。

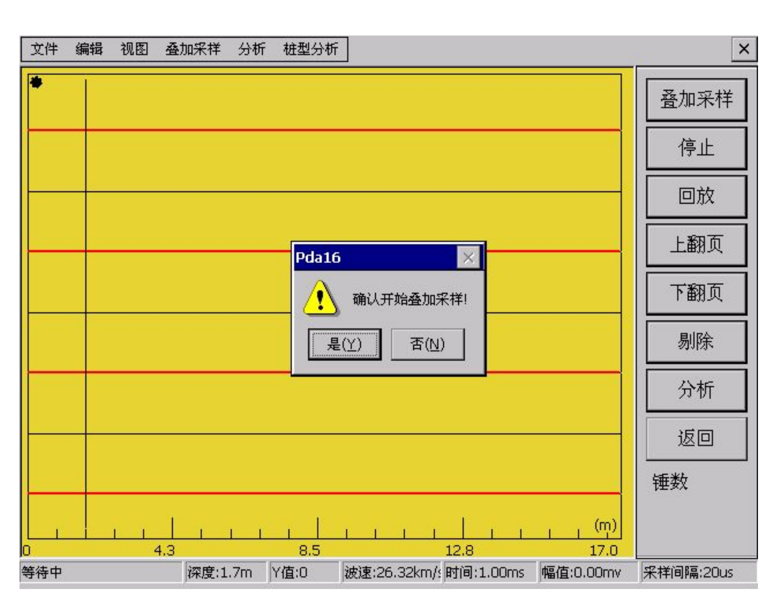



图 1.3.35　叠加采样窗口

叠加采样菜单栏包括叠加采样、停止、回放、上翻页、下翻页、剔除、分析和返回等功能。

**叠加采样：**点击叠加采样功能键，即开始采样。

**停　　止：**停止叠加采样。

**回　　放：**“回放”是叠加采样和连续采样的--伴生功能，执行回放功能，屏幕上将弹出图 1.3.36 所示回放窗口，点击“是”，所有参与叠加的信号将被依次回放。

**上翻页：**执行回放功能后，点击上翻页，实现对当前屏幕之前信号的观看。

**下翻页：**执行回放功能后，点击下翻页，实现对当前屏幕之后信号的观看。

**剔　除：**对测试不好或不合理的信号予以删除。首先选择要剔除信号所在的区数，在执行剔除功能，将该信号予以删除。

**分　析：**对叠彩采样的信号进行完整性分析。

**返回：**退出叠加采样。

**7、导出数据**

RS-1616W(L)为广大用户提供了 2 种文件导出方法。第 1 种实在常用功能菜单栏中的文件操作可实现对测试数据的导出，具体操作见第 6 项对文件操作的解释说明。

第 2 种方法简单叙述如下：

1、将 U 盘插到仪器 U 盘接口，U 盘的指示灯会闪烁；

2、进入 Windows CE 操作界面，双击进入“我的设备”，我们会看到在该文件夹内会显示出一个硬盘盘符，即为我们插入的 U 盘盘符。如图 1.3.36 所示，双击进入“SDMEM”，单击“Data”文件夹，然后在菜单栏中点击“编辑”，选择复制，将“Data”文件夹粘贴到硬盘即可。

当然在这里我们也可以进行单个工地的拷贝，并且可以实现对数据的删除。

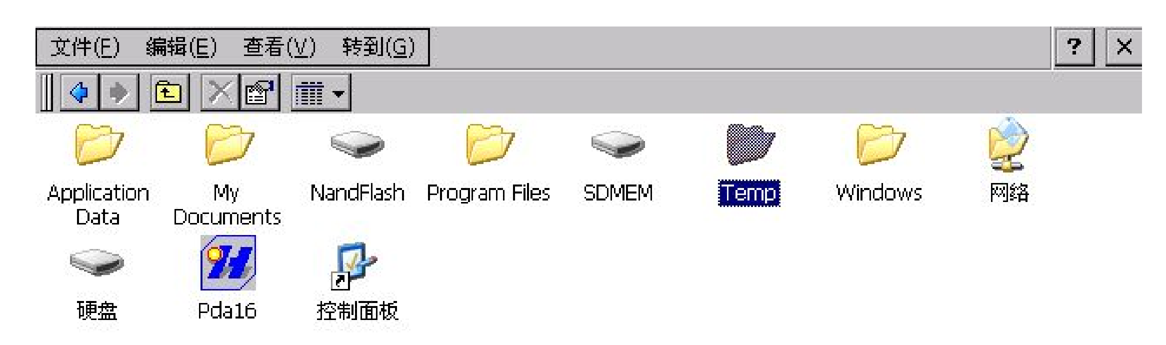



图 1.3.36　SDMEM 界面

3、待 U 盘停止闪烁后，即可拔出 U 盘，完成数据的导出工作。

# Chapter 2　应力波反射法基本原理

## § 2.1　一维波动方程的推导及求解

### 2.1.1)　杆的纵向波动方程

理论假设：某桩为一等截面、匀质、各向同性的弹性杆件，并且服从虎克定律。位移假设相当微小以至对动力激发的反应总是线性弹性的。并假定纵波的长度比杆的横截面尺寸大得多。杆在纵向振动时．杆的横截面保持为平面，而且每个截面上的在这种情况下，横向位移对纵向运动的效应可以略去不计。应力是均匀分布的。

桩长为 $L$，截面积为 $A$，弹性模量为 $E$，质量密度为 $\rho$。取杆轴为 x 轴。如果杆变形时平截面假设成立，受轴向力 $F$ 作用，将沿杆轴向产生位移 $u$，质点运动速度 $v=\frac{\partial u}{\partial t}$ 和应变 $\varepsilon=\frac{\partial u}{\partial x}$，这些动力学和运动学量只是 $x$ 和时间 $t$ 的函数。由于杆具有无穷多的振型，则每一振型各自对应的运动量分布形式都不同。

图示 *1*，在距杆端处有一个长度为 $dx$ 的单元，如果 $u(x,t)$ 为 $t$ 时刻 x 处横截面的纵向位移，则在 $x+dx$ 处的位移为 $u+\frac{\partial u}{\partial x}dx$，显然单元在新位置上的长度变化量为 $\frac{\partial u}{\partial x}dx$，而即为该单元的应变。

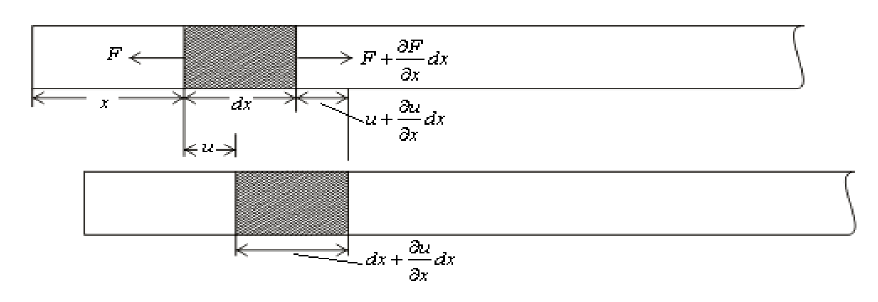



图 2.1.1

1）根据虎克定律，应力与应变之比等于弹性模量 $E$，可写出：

$$A\sigma = EA\varepsilon = EA\frac{\partial u}{\partial x}$$

2）根据达朗贝尔原理，单元上诸力应满足下面方程：

$$A\sigma + \frac{\partial(A\sigma)}{\partial x}dx - A\sigma - \rho A dx\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$$

式中 $\sigma$ 为截面应力，$\varepsilon$ 为应变。

对以上两式合并移项，得：

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \left(\frac{E}{\rho}\right)\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

定义为位移、速度、应变或应力波在杆中的纵向传播速度，得到如下一维波动方程：

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

### 2.1.2) 达朗贝尔公式及波的传播

在求解常微分方程的特解时, 一般先求出方程的通解, 然后利用所给的定解条件去解出通解中含有的任意常数, 最后得到了满足所给条件的特解. 这个想法能否推广到求解偏微分方程的过程中呢?一般情况下, 随着自变量个数的增加, 偏微分方程的通解非常难求, 并且偏微分方程的通解一般都含有任意函数, 这种任意函数很难由定解条件确定为具体的函数. 所以在求解数学物理方程时, 主要采用通过分析各类具体的定解问题, 直接求出符合定解条件的特解的方法. 但事情没有绝对的, 在有些情况下, 我们可以先求出含任意函数的通解, 然后根据定解条件确定出符合要求的特解. 本节我们研究一维波动方程的求解, 就采用这种方式.

达朗贝尔公式

如果我们所考察的弦无限长, 或者我们只研究弦振动刚一开始的阶段, 且距弦的边界较远的一段, 此时可以认为弦的边界, 对此端振动的弦不产生影响. 这样, 定解问题就归结为如下形式

$$\begin{cases} \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (-\infty < x < +\infty) & (2.1.1) \\ u\big|_{t=0} = \varphi(x), \left.\dfrac{\partial u}{\partial t}\right|_{t=0} = \psi(x) & (2.1.2) \end{cases}$$

一维波动方程是双曲型的方程, 所以我们做出如下代换, 令

$$\begin{cases} \xi = x + ct \\ \eta = x - ct \end{cases} \qquad (2.1.3)$$

利用复合函数求导的规则, 有

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial \xi}\frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial \eta}\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{\partial u}{\partial \eta}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial \xi}\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial \eta}\frac{\partial \eta}{\partial t} = c\frac{\partial u}{\partial \xi} - c\frac{\partial u}{\partial \eta}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial \xi}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial \eta}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} + 2\frac{\partial^2 u}{\partial \xi \partial \eta} + \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial \xi}\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \eta}\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)\frac{\partial \eta}{\partial t} = c^2\left(\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2}\right)$$

同理可得

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \left[\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} + 2\frac{\partial^2 u}{\partial \xi \partial \eta} + \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2}\right] = c^2\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

即:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial \xi \partial \eta} = 0$$

对 $\xi$ 积分, 得

$$\frac{\partial u}{\partial \eta} = f(\eta)$$





对此式再对 $\eta$ 积分，得

$$u=\int f(\eta)d\eta+f_1(\xi)=f_1(\xi)+f_2(\eta) \qquad (2.1.4)$$

即

$$u(x,t)=f_1(x+ct)+f_2(x-ct) \qquad (2.1.5)$$

其中$f_1$, $f_2$ 是二次连续可微的任意函数，这样，式(*1.1.5*)可以认为是式(*1.1.1*)的通解.
将初始条件式(*1.1.2*)代入式(*1.1.5*)中，有

$$\begin{cases} f_1(x)+f_2(x)=\varphi(x) & (2.1.6) \\ cf_1'(x)-cf_2'(x)=\psi(x) & (2.1.7) \end{cases}$$

对式(*1.1.7*)两侧关于$x$ 在区间[*0, x*]上积分

$$f_1(x)-f_2(x)=\frac{1}{c}\int_0^x\psi(\xi)d\xi+C \qquad (2.1.8)$$

联立(*1.1.6*)，式(*1.1.8*)，解关于$f_1(x)$,$f_2(x)$ 的方程，有

$$f_1(x)=\frac{1}{2}\varphi(x)+\frac{1}{2c}\int_0^x\psi(\xi)d\xi+\frac{C}{2} \qquad f_2(x)=\frac{1}{2}\varphi(x)-\frac{1}{2c}\int_0^x\psi(\xi)d\xi-\frac{C}{2}$$

将$f_1(x)$,$f_2(x)$代入式(*1.1.5*)中，即得到定解问题的解为

$$u(x,t)=\frac{1}{2}[\varphi(x+at)+\varphi(x-at)]+\frac{1}{2c}\int_{x-at}^{x+at}\psi(\xi)d\xi \qquad (2.1.9)$$

式(*2.1.9*)称为无限长弦自由振动的达朗贝尔公式，由式(*1.1.5*)知，描述弦的自由振动的方程，其解可以表示成$f_1(x+ct)$,$f_2(x+ct)$之和，通过对他们进一步的分析，我们可以更清楚地看出振动波传播的特点. 首先设$u_1=f_1(x+ct)$，显然，它是式(*1.1.1*)的解，当t取不同的值时就可以得到弦在各个时刻的振动状态. $t=0$ 时，$u(x,0)=f_1(x)$，它对应的初始时刻的状态，如图 *2.1.2* 虚线所示. 经过$t_0$这段时间后，$u_1(x,t_0)=f_1(x+ct_0)$相当于原来的实线图形，向左平移了$ct_0$这段距离(如图 *1-1* 中实线所示). 随着时间t的推移，这个图形将继续向左平移，移动距离为$ct$. 这说明当式(*1.1.1*)的解表示为$u_1(x,t)=f_1(x+ct)$时，振动形成的波是以速度c向左传播的. 因此，函数 $f(x+ct)$所描述的振动现象称为左行波. 同样形如$u_2(x,t)=f_2(x-ct)$的函数所描述的振动现象称为右行波. 由此可见，达朗贝尔公式表明：弦上的任意扰动总是以行波的形式分别向两个方向传播出去，其传播速度恰是弦振动方程中的常数 *c*。基于这种原因，本方法由达朗贝尔公式(*2.1.5*)可见，解在(x, t)点的数值仅依赖于初始条件在 x 轴的区间[$x-ct,x+ct$]上的值，而与其他点上的初始条件无关，这个区间称为点($x,t$)的依赖区间，它是过($x,t$)点分别作斜率为$\pm 1/c$的直线与 x 轴相交所截得的区间，如图 *2.1.3* 所示.

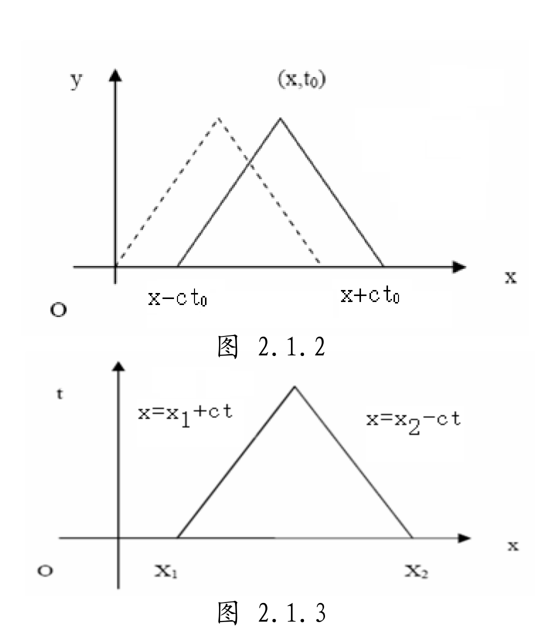



图 2.1.2

图 2.1.3

初始时刻$t=0$ 时，取$x$轴上的一个区间[$x_1,x_2$]，过点$x_1$作斜率为 $1/c$的直线$x=x+ct$，过点$x_2$作一个斜率为$-1/c$的直线$x=x-ct$，构成一个三角形区域，如图 *2.1.4* 所示. 此三角形域中任意一点($x,t$)的依赖区间到落在[$x_1,x_2$]的内部，因此，解在此三角形区域中的值完全由初始条件在区间[$x_1,x_2$]内的值所决定，而与此区间外的初始条件无关，于是这个区域就称为[$x_1,x_2$]的决定区域，给定区间[$x_1,x_2$]上的初始条件，就可以在其决定区域内确定初值问题的解.

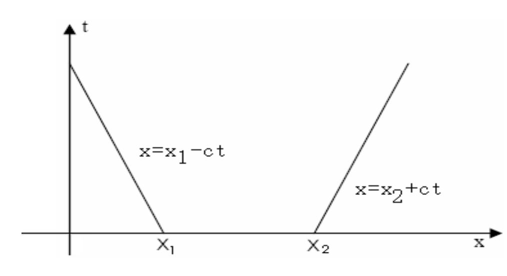



图 2.1.4

若过点$x_1$, $x_2$分别作直线$x=x-ct$, $x=x+ct$则经过时间$t$后，受区间$[x_1,x_2]$ 上初始扰动影响的区域为

$$x-ct \leqslant x \leqslant x+ct$$

在此区域外的波动不受$[x_1,x_2]$上初始扰动的影响，称$x$-$t$ 平面上不等式所确定的区域为区间$[x_1,x_2]$的影响区域.

由上述内容可见，在$x$-$t$平面上，斜率为$\pm 1/c$的两族直线$x\pm ct=C$（常数）在研究一维波动方程时起着重要的作用，因此这两族直线称为一维波动方程式（1.1.1）的特征线. 变换式（2.1.3）常称为特征变换，在特征线$x-ct=C2$ 上，左行波$u_1(x,t)= f_1(x+ct)$的振幅取常数值$f_1(C_1)$ ，所以波动实际上是沿着特征线传播的，因此行波法又成为特征线法.

若初始条件中 $\psi(x)=0$ ，则有

$$u(x,t)=\frac{1}{2}[\varphi(x+ct)+\varphi(x-ct)]$$

则点(x, t)处的状态只是由初始数据$\varphi$ 在$[x-ct,x+ct]$的两个端点的值唯一确定，它表示初始数据$\varphi(x)$ 以$\frac{1}{2}\varphi(x)$的波形，以速度 $c$ 分别向左、右传播，这是一种无累积效应（即无后效）的传播.

若$\varphi(x)=0$，则

$$u(x,t)=\frac{1}{2c}\int_{x-ct}^{x+ct}\psi(\xi)d\xi$$

点$(x,t)$ 的状态依赖于初始数据ψ的在整个区间$[x-ct,x+ct]$上的值，这是一种有累积的效应（即有后效）的传播.

# §2.2 行 波 理 论

## 2.2.1) 上行波和下行波

由式(*1.1.4*)得到一维波动方程的通解：

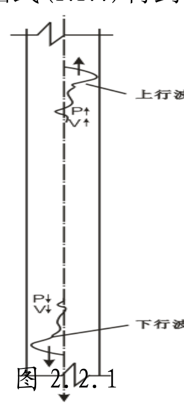


图 2.2.1

$$s = f(x-ct) + g(x+ct) \qquad (2.2.1)$$

如果单独研究下行波(图 *2-34*)，下行波的质点运动速度记作 $v\downarrow$，其值为：

$$v\downarrow = \frac{\partial f(x-ct)}{\partial t} = f'(x-ct)\cdot(-c) = -cf' \qquad (2.2.2)$$

这里应注意：$v\downarrow$ 是表示质点运动的速度而 C 是波的传播速度。两者是完全不同的概念.

下行波产生的应变 $\varepsilon\downarrow$ 为：

$$\varepsilon\downarrow = \frac{\partial f(x-ct)}{\partial x} = -f'(x-ct)\cdot 1 = -f' \qquad (2.2.3)$$

$$\Rightarrow \qquad v = c \cdot \varepsilon$$

式中的负号，表示以压缩变形和压应力为正.

下行波产生的力 $p\downarrow$ 为：

$$P\downarrow = \varepsilon\downarrow \cdot AE = -AE\cdot f' \qquad (2.2.4)$$

$$令\ Z = \frac{AE}{c} \qquad (2.2.5) \qquad \frac{AE}{c} = \frac{A\rho c^2}{c} = \rho c A$$

式中 Z ----杆件的声阻抗；

A、E----杆件的截面积和弹性模量。

由公式(*2.2.2*)、(*2.2.4*)、(*2.2.5*)可知下行波的质点运动速度和截面积的力之间存在着一个恒定的关系式：

$$P\downarrow = -Zv\downarrow \qquad (2.2.6)$$

同样，对于上行波可以得到：

$$v\uparrow = \frac{-\partial g(x+ct)}{\partial x} = -g'(x+ct)\times 1 = -g' \qquad (2.2.7)$$

$$P\uparrow = \varepsilon\uparrow \cdot AE = -AEg' \qquad (2.2.8)$$

所以：

$$P\uparrow = -Zv\uparrow \qquad (2.2.9)$$

在一般情况下，桩身上任一截面上测到的质点运动速度或力都是上行波与下行波叠加的结果。

$$v = \frac{\delta s}{\delta t} = \frac{\partial f(x-ct)}{\partial t} + \frac{\partial g(x+ct)}{\partial t} = v\downarrow + v\uparrow \qquad (2.2.10)$$

$$P=-AE\frac{\delta s}{\delta x}=-AE\left[\frac{\partial f(x-ct)}{\partial t}-\frac{\partial g(x+ct)}{\partial t}\right]=P\downarrow+P\uparrow \qquad (2.2.11)$$

如果将实测的质点运动速度和力分别记作 $v_m$ 和 $p_m$ 。则由公式(*2.2.6*)、(*2.2.9*)和(*2.2.11*)很容易将各时刻这一截面上的质点速度与力的上行波分量和下行波分离开来，得：

$$\left.\begin{aligned} v\downarrow&=\frac{1}{2}\left(v_m+\frac{p_m}{Z}\right)\\ v\uparrow&=\frac{1}{2}\left(v_m-\frac{p_m}{Z}\right)\end{aligned}\right\} \qquad (2.2.12)$$

$$\left.\begin{aligned} P\downarrow&=\frac{1}{2}\left(P_m+Zv_m\right)\\ P\uparrow&=\frac{1}{2}\left(P_m-Zv_m\right)\end{aligned}\right\} \qquad (2.2.13)$$

### 2.2.2) 自由端、固定端

1) 当杆端为自由端时，有边界条件(图 *2.2.2*)

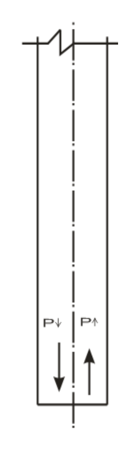


图 2.2.2

$$P=P\downarrow+P\uparrow=0 \qquad (2.2.14)$$

将公式(*2.2.6*)、(*2.2.9*)代入式(*2.2.14*)得：

$$Zv\downarrow-Zv\uparrow=0$$

$$v\downarrow=v\uparrow \qquad (2.2.15)$$

由式(*2.2.14*)得:

$$P\uparrow=-P\downarrow \qquad (2.2.16)$$

由式(*2.2.10*)、(*2.2.15*)得:

$$v=v\downarrow+v\uparrow=2v\downarrow \qquad (2.2.17)$$

式(*2.2.15*)、(*2.2.16*)和式(*2.2.17*)表示应力波到达自由端后，将产生一个符号相反，幅值相同的反射波，即压力波产生拉力反射波，拉力波产生压力反射波。而在杆端处由于波的叠加，使杆端质点运动速度增加一倍。

2) 当杆端为固定端时，有边界条件（图 *2.2.3*）:

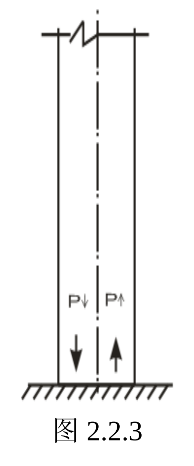


图 2.2.3

$$v=v\downarrow+v\uparrow=0 \qquad (2.2.18)$$

得:

$$v\uparrow=-v\downarrow \qquad (2.2.19)$$

将式(*1.2.6*)、(*1.2.9*)代入式(*1.2.19*)得:

$$P\uparrow=P\downarrow \qquad (2.2.20)$$

类似地:

$$P=P\downarrow+P\uparrow=2P\downarrow \qquad (2.2.21)$$

式(*2.2.19*)、(*2.2.20*)和式(*1.2.21*)表示应力波到达固定端后，将产生一个与入射波相同的反射波，即入射的压力波产生压力反射波，入射的拉力波产生拉力反射波。在杆端处由于波的叠加使端部反力增加一倍。

### 2.2.3) 杆件侧摩阻力(图 *2.2.4*)

在杆件侧面 i 处有一摩阻力 *R*（*i*）作用时，截面两侧的力和速度分别为：

上侧： $$\left.\begin{aligned} P_1 &= P_1\downarrow + P_1\uparrow \\ v_1 &= v_1\uparrow + v_1\downarrow \end{aligned}\right\} \qquad (2.2.22)$$

下侧： $$\left.\begin{aligned} P_2 &= P_2\downarrow + P_2\uparrow \\ v_2 &= v_2\uparrow + v_2\downarrow \end{aligned}\right\} \qquad (2.2.23)$$

*i* 截面处的平衡条件和连续条件为：

$$\left.\begin{aligned} P_1 - P_2 &= R(i) \\ v_1 &= v_2 \end{aligned}\right\} \qquad (2.2.24)$$

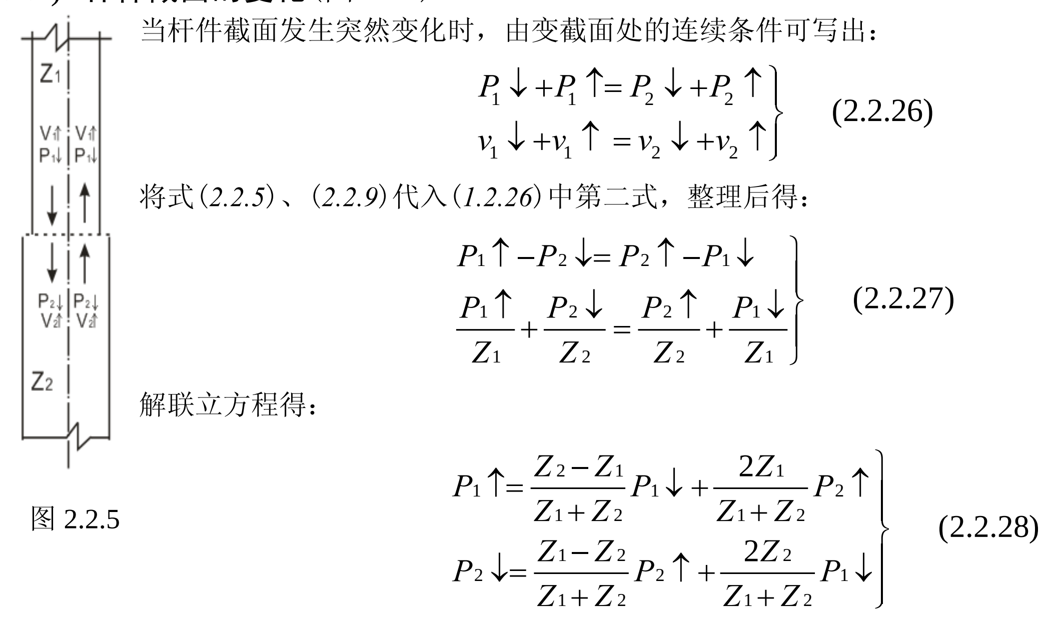
图 2.2.4

从式（*2.2.22*）、（*2.2.23*）、（*2.2.24*）并考虑到式（*2.2.5*）、（*2.2.9*）、消去式中 $P_1, P_2, v_1, v_2, v_1\uparrow, v_1\downarrow, v_2\uparrow, v_2\downarrow$，经整理得：

$$\left.\begin{aligned} P_1\uparrow &= P_2\uparrow + \frac{1}{2}R(i) \\ P_2\downarrow &= P_1\downarrow - \frac{1}{2}R(i) \end{aligned}\right\} \qquad (2.2.25)$$

式(2.2.25)表示上行波或下行波在通过 i 截面时，由于力 R(i)的作用，从 i 截面开始产生一个向上的压力波和一个向下的拉力波，叠加于原来的行波中。它们的幅值都等于 $\frac{1}{2}R(i)$。

### 2.2.4) 杆件截面的变化(图 *2.2.5*)



当杆件截面发生突然变化时，由变截面处的连续条件可写出：

$$\left.\begin{aligned} P_1\downarrow + P_1\uparrow &= P_2\downarrow + P_2\uparrow \\ v_1\downarrow + v_1\uparrow &= v_2\downarrow + v_2\uparrow \end{aligned}\right\} \qquad (2.2.26)$$

将式(*2.2.5*)、(*2.2.9*)代入(*1.2.26*)中第二式，整理后得：

$$\left.\begin{aligned} P_1\uparrow - P_2\downarrow &= P_2\uparrow - P_1\downarrow \\ \frac{P_1\uparrow}{Z_1} + \frac{P_2\downarrow}{Z_2} &= \frac{P_2\uparrow}{Z_2} + \frac{P_1\downarrow}{Z_1} \end{aligned}\right\} \qquad (2.2.27)$$

解联立方程得：

$$\left.\begin{aligned} P_1\uparrow &= \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}P_1\downarrow + \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}P_2\uparrow \\ P_2\downarrow &= \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}P_2\uparrow + \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}P_1\downarrow \end{aligned}\right\} \qquad (2.2.28)$$

图 2.2.5

当只有下行波 $P_1\downarrow$ 通过变截面时，式(*2.2.28*)变为：

$$\begin{cases} P_1\uparrow=\dfrac{Z_2-Z_1}{Z_1+Z_2}P_1\downarrow \quad (\text{反射波}) \\ P_2\downarrow=\dfrac{2Z_2}{Z_1+Z_2}P_1\downarrow \quad (\text{透射波}) \end{cases} \tag{2.2.29}$$

同样，只有上行波 $P_2\uparrow$ 传来时，式(1.2.28)变为：

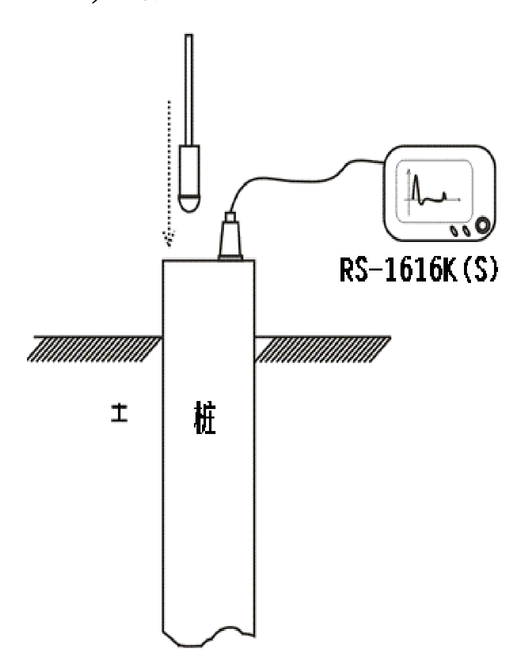
$$\begin{cases} P_1\uparrow=\dfrac{2Z_2}{Z_1+Z_2}P_2\uparrow \quad (\text{透射波}) \\ P_2\downarrow=\dfrac{Z_1-Z_2}{Z_1+Z_2}P_2\uparrow \quad (\text{反射波}) \end{cases} \tag{2.2.30}$$

式(*2.2.29*)、(*2.2.30*)表示，当原有的下行波 $P_1\downarrow$ 及上行波 $P_2\uparrow$ 通过变化截面时，都会分成透射和反射两部分。透射波的性质(拉力波或压力波)保持与入射波一致，幅值为原入射|$2Z_2/(Z_2+Z_1)$|倍。反射波的幅值为原入射波的|$(Z_2-Z_1)/(Z_2+Z_1)$|倍，并根据$Z_2- Z_1$项的正负号，决定反射波的性质是否变化。当入射波由阻抗较大的杆件$Z_1$段进入阻抗较小的段$Z_2$时，透射波的幅值比原来入射波的幅值小，$Z_2- Z_1$为负值，反射波改变符号。如果入射波是压力波时，反射是拉力波，入射是拉力波时反射是压力波。当入射波是由阻抗较小的杆件段进入阻抗较大的杆件段时，透射波的幅值比原来入射波大。$Z_2- Z_1$为正值，反射波不改变符号。即入射是什么性质的波，反射仍是什么性质的波。

# Chapter 3　应力波反射法（高、低应变公式的推导及应用）

## §3.1　基桩低应变完整性测试与分析

### 3.1.1)　概述




基桩反射波法检测桩身结构完整性的基本原理是：通过在桩顶施加激振信号产生应力波脉冲，该应力波沿桩身传播过程中，遇到不连续界面（如蜂窝、夹泥、断裂、孔洞等缺陷）和桩底面时，将产生反射波，检测分析反射波的传播时间、幅值和波形特征，就能判断桩的完整性。

假设桩中某处阻抗发生变化，当应力波从介质Ⅰ（阻抗为$Z_1$）进入介质Ⅱ（阻抗为$Z_2$）时，将产生速度反射波和速度透射波。

令桩身质量完整性系数$\beta = Z_2/Z_1$, 反射系数为 $\alpha$ 由式（*2.2.30*）则有

$$\alpha = \frac{v_2\downarrow}{v_2\uparrow} = \frac{Z_2 v_2\downarrow}{Z_2 v_2\uparrow} = \frac{P_2\downarrow}{P_2\uparrow} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1-\frac{Z_2}{Z_1}}{1+\frac{Z_2}{Z_1}} = \frac{1-\beta}{1+\beta} \quad (3.1.1)$$

令 $\Delta Z = Z_1 - Z_2$　　　$Z = \rho c A = \frac{EA}{c}$（ρ桩密度、$C$波速、$A$截面积）

图 3.1.1 现场测试示意图

a)．若 $\beta = 1$，$\Delta Z = 0$ 时，$\alpha = 0$ 说明界面无阻抗差异，即没有反射波。

b)．若 $\beta < 1$，$\Delta Z > 0$ 时，$\alpha > 0$ 说明界面阻抗变小，出现与入射波同向的反射波。

c)．若 $\beta > 1$，$\Delta Z < 0$ 时，$\alpha < 0$ 说明界面阻抗变大，出现与入射波反向的反射波。

i）．　图 3.1.2 完整桩，已知桩长 $L$，桩底一次反射时间为 $t$, 应力波在桩身中传播的纵波波速为 $c$. 则三者之间的关系为

$$c = \frac{2L}{t} \quad (3.1.2)$$

该式即为判断桩长或波速的简单关系式。在实际测试分析中 $C$ 和 $L$ 其中一个量必须知晓。

ii）．　图 1.3-3 缺陷桩，缺陷的程度根据缺陷反射的幅值定性确定，缺陷位置根据反射波的时间$t_x$由下式确定

$$L_x = c\frac{t_x}{2} \quad (3.1.3)$$

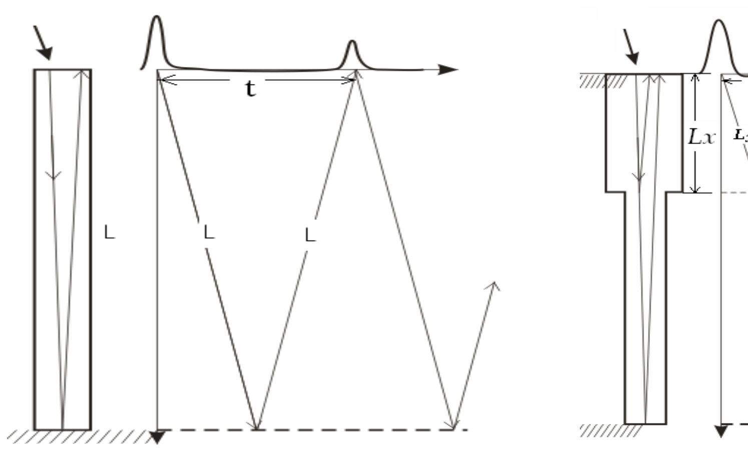



图 3.1.2 完整桩

图 3.1.3 变截面

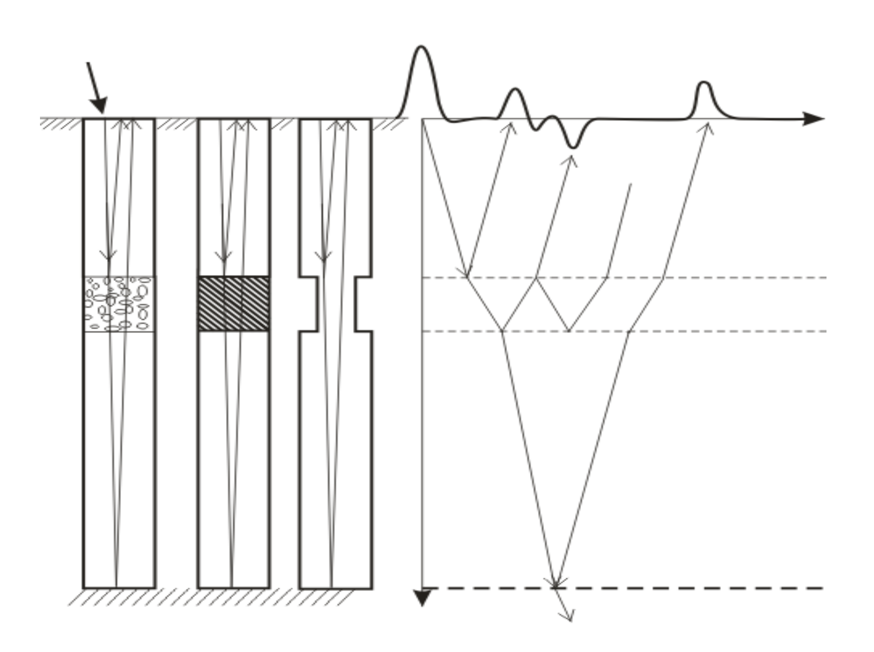


图 3.1.4 离析、夹泥、缩颈

【不同桩身阻抗变化情形下的桩顶速度响应波形图】

图 3.1.5

### 3.1.2) 低应变现场测试前注意事项

#### 1) 选锤

现场检测选择不同材质的锤头或锤垫，可激发出低频宽脉冲或高频窄脉冲。（见表 *1.3B2*）低频脉冲有利于检测桩深部缺陷、高频脉冲有利于检测桩浅部缺陷。

a) 当遇到大直径长桩时，应选择力棒等激发能量稍大一点的重锤（如桩长超过 *20m*, 桩直径大于 *800mm*）。

b) 当遇到小直径短桩时，应选择小铁锤或小钣手敲击---注意掌握力度。（如桩长小于 *5m*, 桩直径小于 *300mm*）。

c) 其它情况，采用尼龙锤 可满足要求。

#### 2) 桩头处理

a) 桩头条件处理的好坏直接影响到测试信号的质量。桩顶表面应平整干净且无积水；应将敲击点和传感器安装点部位磨平，多次敲击信号一致性较差时，多与上述条件未达到有关。

b) 当桩头与承台或垫层相连时，相当于桩头处存在很大的截面阻抗变化，对测试信号会产生影响。因此，测试时桩头应与混凝土承台断开；当桩头侧面与垫层相连时，除非对测试信号没有影响，否则应断开。

#### 3) 传感器的安装及手锤敲击要领。（略）请参阅建设部桩基检测规范 *JGJ2003-106* 附录。

#### 4) 耦合剂的选择。

较好的耦合剂有：石膏、蜡烛、黄油及其它固态油、凡士林等等。

激振锤激发效果一览表 **（3.1.1B）**

| 编号 | 锤 型 | 材质 | 重量 (kN) | 脉宽 (ms) | 主瓣宽 (kHz) | 力值 (kN) | 加速度计 | | 速度计 | | 检波器 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 波形 | 谐振峰 (kHz) | 波形 | 谐振峰 (kHz) | 波形 | 谐振峰 (kHz) |
| 1 | 小钢管 | 钢 | 0.09 | 0.6 | 3.281 | 0.136 | 微 荡 | 4.717 | 微 荡 | 1.760 | 轻 荡 | 1.543 |
| 2 | 小钢杆 | 钢 | 0.13 | 0.7 | 2.559 | 0.272 | 微 荡 | 4.707 | 微 荡 | 1.750 | 轻 荡 | 1.475 |
| 3 | 小钢钎 | 钢 | 0.27 | 0.9 | 2.021 | 0.408 | 正 常 | 4.814 | 微 荡 | 1.760 | 轻 荡 | 1.480 |
| 4 | 小板斧 | 铁 | 0.22 | 1.1 | 1.748 | 0.332 | 正 常 | 4.500 | 正 常 | / | 微 荡 | 1.484 |
| 5 | 小钢锤 | 钢 | 0.22 | 0.8 | 2.266 | 0.378 | 正 常 | 4.510 | 微 荡 | 1.760 | 轻 荡 | 1.494 |
| 6 | 铁 锤 | 钢 | 1.23 | 0.8 | 2.500 | 1.888 | 正 常 | 4.770 | 微 荡 | 1.770 | 轻 荡 | 1.494 |
| 7 | 装修锤 | 塑料 | 0.33 | 1.2 | 1.885 | 0.526 | 正 常 | 4.710 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 8 | 木 锤 | 杂木 | 0.39 | 1.0 | 1.924 | 0.589 | 正 常 | 4.760 | 正 常 | / | 轻 荡 | 1.500 |
| 9 | 橡胶锤 | 生胶 | 0.19 | 1.5 | 1.211 | 0.227 | 正 常 | 4.790 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 10 | 橡胶锤 | 生胶 | 0.30 | 2.0 | 0.859 | 0.434 | 正 常 | 4.730 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 11 | 橡胶锤 | 生胶 | 0.70 | 2.4 | 0.752 | 0.501 | 正 常 | 4.500 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 12 | 橡胶锤 | 熟胶 | 0.66 | 2.7 | 0.771 | 0.807 | 正 常 | 4.500 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 13 | 尼龙锤 | 尼龙 101 | 0.51 | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| 14 | YE 力锤 | 钢头 | 0.9 | 0.9 | 2.129 | 1.340 | 正 常 | 4.600 | 微 荡 | 1.094 | 微 荡 | 0.980 |
| 15 | YE 力锤 | 铝头 | 0.88 | 1.0 | 1.885 | 1.094 | 正 常 | 4.240 | 微 荡 | 1.094 | 微 荡 | 0.980 |




| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | YE 力锤 | 尼龙 101 | 0.89 | 1.9 | 1.201 | 1.034 | 正 常 | 4.500 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 17 | SV 力锤 | 钢头 | 2.39 | 1.5 | 1.279 | 1.750 | 正 常 | 4.560 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 18 | SV 力锤 | 铝头 | 2.09 | 1.0 | 1.924 | 3.157 | 正 常 | 4.520 | 微 荡 | 1.094 | 微 荡 | 0.980 |
| 19 | SV 力锤 | 尼龙 101 | 2.03 | 1.6 | 1.240 | 3.430 | 正 常 | / | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 20 | SV 力锤 | 橡胶 | 2.02 | 4.8 | 0.430 | 2.382 | 正 常 | / | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 21 | RS 手锤 | 尼龙 101 | 0.94 | 1.0 | 1.904 | 1.420 | 正 常 | / | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 22 | RS 手锤 | 聚丙乙烯 | 0.94 | 1.2 | 1.611 | 1.394 | 正 常 | 4.780 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 23 | RS 手锤 | 聚乙烯 | 0.94 | 2.0 | 0.957 | 1.304 | 正 常 | 4.780 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 24 | RS 力棒 | 尼龙 101 | 3.95 | 1.7 | 1.113 | 5.967 | 正 常 | 4.710 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 25 | RS 力棒 | 尼龙 101 | 7.35 | 2.2 | 0.888 | 11.86 | 正 常 | / | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 26 | RS 力棒 | 铁 | 9.72 | 1.5 | 1.25 | 14.68 | 正 常 | 4.710 | 正 常 | / | 微 荡 | 1.504 |
| 27 | RS 力棒 | 聚乙烯 | 3.78 | 3.0 | 0.644 | 5.196 | 正 常 | / | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 28 | RS 力棒 | 聚乙烯 | 7.18 | 3.5 | 0.518 | 7.512 | 正 常 | / | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 29 | RS 力棒 | 铁 | 2.95 | 1.2 | 1.553 | 4.456 | 正 常 | 4.730 | 正 常 | / | 微 荡 | 1.484 |
| 30 | RS 力棒 | 尼龙 101 | 2.97 | 1.5 | 1.377 | 4.486 | 正 常 | 4.750 | 正 常 | / | 正 常 | / |
| 31 | RS 力棒 | 铁 | 6.13 | 1.3 | 1.475 | 8.626 | 正 常 | 4.710 | 正 常 | / | 微 荡 | 1.484 |

注：1、安装方式：加速度计——高级橡皮泥；速度计——高级橡皮泥；检波器——钻孔全埋；

2、敲击对象：预制桩

3、NO.7 材料系德国产高韧性锤材质不明。

### 3.1.3) 如何确立砼波速 C

#### 1) 砼强度与波速之间关系。

国内外大多数专家学者都认为，砼强度与波速之间无固定的相关关系，不同场地、不同配合比、不同龄期、采用不同厂家生产的水泥，其波速与砼强度的关系都不一样，但这并不意味着二者的关系完全不可知，事实上，有一点大家的观点相当一致，即同一场地，相同配合比的情况下波速越高，砼强度也越大。波动理论可以证明：$E=\rho C^2$

$[\sigma]=F(E)$ 有经验参考公式：$[\sigma]=4.18e^{0.49c}$

$C$ 为砼纵波波速（$m/ms$）、[ $\sigma$ ]为砼强度（$Mpa$）

**不同强度砼的波速特征值及范围　　表(3.1.2B)**

| 砼强度 | 砼 | C15 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40~ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 波速范围 | 2500~4500 | 2500~3100 | 3000~3500 | 3500~3800 | 3700~4000 | 3900~4200 | 4100~4500 |
| 特征波速 | 3500 | 2800 | 3200 | 3650 | 3950 | 4100 | 4300 |

但更具体可信的波速还是要根据不同地区的大量检测数据的结果统计来完成（在确定的桩长、确定的砼标号、明显的桩底反射等
的条件下）。

另外，不同龄期，砼强度不一样，砼强度随时间的变化曲线因水泥特性不同而不同，速效水泥几天

即可达到预期强度，普通水泥超过 14 天，强度可达到预期值的 80%以上，只有满 28 天龄期其强度值才能完全达到要求，有下列关系式可供参考：

$$[\sigma]=[\sigma]_{28}.\log_{28}^{n}$$

n 为施工后的天数，$[\sigma]$ 为当天抗压强度，$[\sigma]_{28}$ 为预期强度。

2) **应力波在砼材料中传播的色散性。**

即波速随着振源频率的变化而变化，$C=F(f)$。

一般来说频率越高，信号衰减越快，波速越高。频率越低，信号衰减越慢而波速也越低。

### 3.1.4) 灌注桩的工程质量问题及其成因

1) **桩身混凝土强度低于设计要求**

a) 不按规定配比制作混凝土。

b) 浇注过程由于涌水或导管渗水导致混凝土稀释；或临桩成孔抽水将未凝固的水泥带走，或沉管灌注桩刚浇注完混凝土桩周承压水涌出带出水泥。

c) 由于混凝土坍落度过小和易性差或搅拌后放置时间太长。

d) 由于采用的水泥材质太差。

2) **桩身结构不完整**

常见的问题有夹泥、空洞、漏筋、断裂、缩颈。

a) 混凝土浇注导管初始位置离孔底距离过大，或埋入混凝土中太浅。或拔管太快或坍孔（钻孔冲孔桩）从而引起夹泥。

b) 混凝土稠度太大导致空洞、桩身不密实。

c) 孔位歪斜或钢筋笼未绑垫块，或钢筋笼弯曲等导致漏筋。

d) 沉管灌注桩设计桩距太小，或施工流向不合理，或拔管太快，或密集桩群施工速度快，超孔压大，地面隆起量大，导致桩身断裂或缩颈。断桩、缩颈位置一般在近地面 *2~4m* 以内。

3) **桩底虚土、桩壁附着泥浆太厚，桩底虚土多是螺旋钻孔法的因有缺陷，桩壁附着泥浆太厚往往是由于浇注时孔内泥浆太稠所致。**

### 3.1.5) 预制桩的工程质量问题及其成因

1) **桩身折断、开裂、桩入土深度不符合设计要求**

a) 桩身接头构造或焊接不良或桩尖贯入遇到障碍物弯曲变向，锤击而折断。

b) 桩身混凝土标号太低或锤击数太多（大于 *1500* 次），桩身破裂。

c) 由于锤击能偏小，与贯入阻力不匹配，无法贯穿硬夹层或无法贯入硬持力层足够深度，使单桩承载力不够，并形成“树林”，需大量截桩。

2) **沉桩对环境产生破坏性危害**

由于沉桩挤土引起超孔压，土体范围隆起或侧移，破坏周围建筑物，管线和道路等，这在饱和深层软土地区较为突出。上海市区由此引起的损失赔偿大大超过基础本身造价。

3) **相邻工序处理不当，造成大量侧移**

对于已沉桩（送桩沉入地面以下）的深基础坑开挖，降水如果处理不当，会引起基桩侧移甚至折断。如天津某厂打预制桩 *1158* 根，基坑 *105m*×*150m*，深 *5m*，由于从一侧降水，挖土，土体向一侧位移，致使基桩发生 *1°~10°* 的倾斜，桩顶侧移最大 *110cm*, 经静载试验，倾斜 *10°* 的基桩极限荷载降低 *70%*。

# chapter 4　RS 系列基桩动测分析软件使用教程

1)　数据格式转换

(1)　打开“岩海公司低应变分析程序 W1616”

(2)　选择菜单“工具”--->“数据转换器”--->“类型”K1616P(*.SSS) to K1616(*.SCR)--->点击“转换”

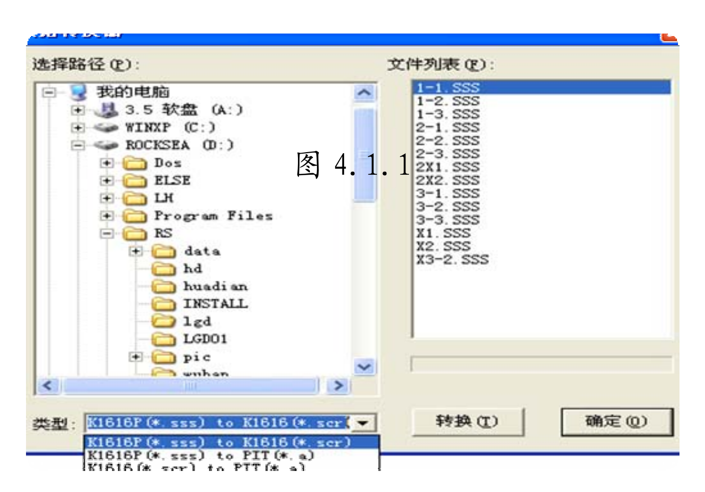



图 4.1.1

## §4.1　低应变分析程序各指令详解




### 4.1.1)　数据的基本编辑处理与分析

1)　双击鼠标进入低应变分析程序 *W1616-2.09.exe*

“*Ctrl+O*　　”：读文件

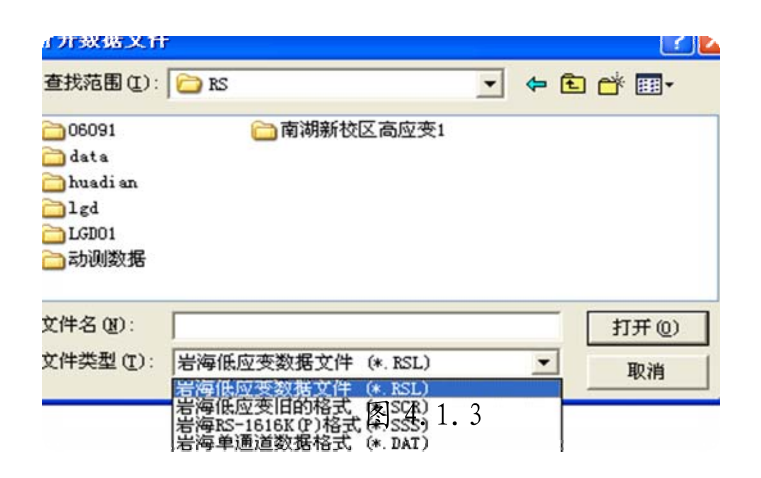


图 4.1.3

在“文件类型”点击弹出下拉列表框：

《**_RSL_**》格式比较少用。

《**_SCR_**》是岩海最通用的数据格式之一，用户一般选择此项。

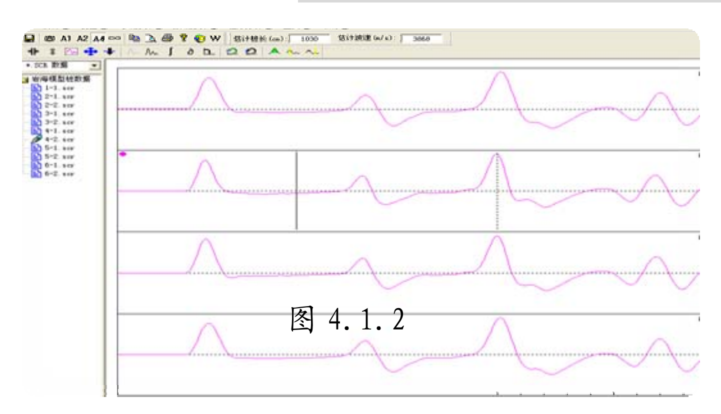
《**_SSS_** 》 是仪器内电子盘上存储的原始数据格式。

《**_DAT_**》是仪器单次采样后保存的数据格式。

《**_SW_** 》 是剪切波测试数据的格式。

如果您是通过并口或串口数据线连接仪器传输数据，那么传出来的数据格式是***.SCR,**如果您是通过 *U* 盘连接仪器拷出来的数据，那么拷到 U 盘里的数据格式是***.SSS**。

2) 信号曲线的选择。鼠标左键单击点选或按“*TAB*”键：切换选择分析数据道（观测曲线左侧红点）信号的选择方法为：首波清晰，干净，无共振干扰、且无毛刺。


图 4.1.2

3) 或鼠标双击任一条曲线或按“*x*”键：显示单条曲线

或按“*y*”键： 显示两条曲线

或按“*z*”键： 显示四条曲线

4) 或“[”/“]”： 拉伸压缩曲线

5) 或“*Shift+f*”： 幅度谱（即频域分析）

如何获取一个高分辨率的优质频域曲线应注意以下几点：

（1） 信号中不应当有与桩土系统无关的直流偏移量。直流耦合类仪器或信号经过高倍前放，

其直流偏移量是经常存在的，直流偏移量会导致频域信号中零频过于丰富。

（2） 信号的前置延迟点数不可太多，一般接收的信号都有预置的延迟点数，较多的延迟点数会导致频域曲线出现振荡。

（3） 不宜用较短的采样点数或较小的时域分辨率。因为频率分辨率 $\Delta f = 1/(2N*\Delta t)$，其中 $N$ 为记录长度，$\Delta t$ 为时域曲线中点与点间的时差，为了保证时域分辨率，$\Delta t$ 也较小。因此，直接用此信号进行频域分析，

$\Delta f$ 将极大以致于无法深入分析。

（4） 时域分辨率太低时也会使时域和频域曲线失真。

针对上述几点, *1616 k* 系列动测仪可对时域信号依如下次序改进:

[ a ] 连续按“-”键，减少信号的前置点。每按一次“-”将使信号前置点少 *10* 个，“—”少一个，“＝”、“＋”则分别增加 *10* 点或 *1* 点。改变前置点数可根据需要进行，例如若分析尾部信号频率成分，可将曲线足够左移。

[ b ] 按 *2~3* 下“[”，压缩使信号的时域分辨率减少 *4~8* 倍，一般来说，在信号不失真的情况下应尽量压缩时域曲线,为提高频域分辨率创造前提。每按一次“[”，将使时域曲线压缩一倍，时域分辨率降低一倍，而屏幕中显示的时间长度却增加了一倍，“]”的功能与“[”相反。

[ c ] 按“*o*”，消去信号中存在的直流成分。

经上述变化后的曲线，前屏部分为信号记录段，而后面的则为零值填充段(这是提高 FFT 频域分辨率的一个有效手段)。此时零值填充段有可能出现偏移，为消除这些不合理的偏移，可继续采用下述指令修正。

[ d ] 连续按“*&*”或“ˇ”(“*shift＋6*”或“*shift＋7*”)，直到目测信号记录段基线与坐标轴重合时为止。

[ e ] 利用“→”、“←”、“,”、“.”四键将虚竖线光标移至信号记录段的尾部，稍靠前一点的地方。

[ f ] 按“*ctrl+x*”键，此键将虚竖线光标以后的数值全部填充为零，与其相对应的一个键是“？”,它将虚竖线光标以前的点赋值为零。

[ g ] 将光标移至信号记录段尾部后反复按“*o*”和“*ctrl+x*”也可消除不合理的偏移。

[ h ] 按“*F*”或“*(*”求原始谱或积分谱，当分析振源和传感器影响时，可求原始谱；而分析桩身完整性，则应视所用传感器而定。由于各种动测方法都是以速度信号为基础的，因此对速度传感器所测信号应分析原始谱，而对加速度所测信号则应分析积分谱(速度谱)。

6) 或“*b*”：数字滤波(低通上限应在速度谱中求得)

数字滤波，根据原始加速度信号的速度谱，分析其所存在的不合理高频成分，并选择数字滤波形式，然后对已完成积分和修正后的速度曲线进行数字滤波。这种数字滤波都自 *0Hz* 开始，其上限频率常在 *2500Hz* 以上，最低不得超过 *1000Hz*(滤波陡度为 1 或 2 阶)，否则会引起信号变形；

当信号中存在安装谐振时必须数字滤波，分析步骤一般可按如下方式进行:

（1） 利用“[”、“*o*”等指令，将原始曲线压缩、消直流，观察原始曲线形态与走向，粗步判断桩身和曲线所存在的质量问题。

（2） 对原始信号作频谱分析，与较理想的速度谱图进行对比，判断其所存在的不合理成分，特别是安装谐振成份。完整桩的速度谱图中同一缺陷引起的共振峰应随着阶数的增加而下降，而且总趋势也应逐渐下降，在高频端不应当有反常的高峰出现。如有这种单一的反常高峰，且无周期性现象发生，应被视为安装谐振振荡主频(如图 $F_m$=*1533.20Hz*)。

（3） 延伸此振荡主频包络路线的左侧至轴线，可以简单地将交点所对应的频率作为





滤波的上限截止频率$f_b$ (1093.8Hz) 。

（4） 根据频域中所选的高频截止频率，按“*SPACE*”键回复到时域原始信号中进行数字滤波(“*b*”),其滤波可采用带宽 $0\sim f_b$进行（低通或带通）。

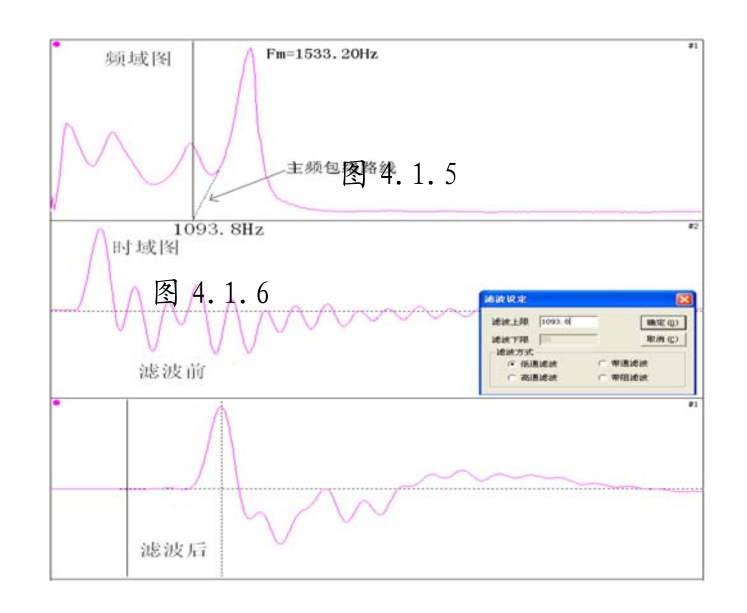


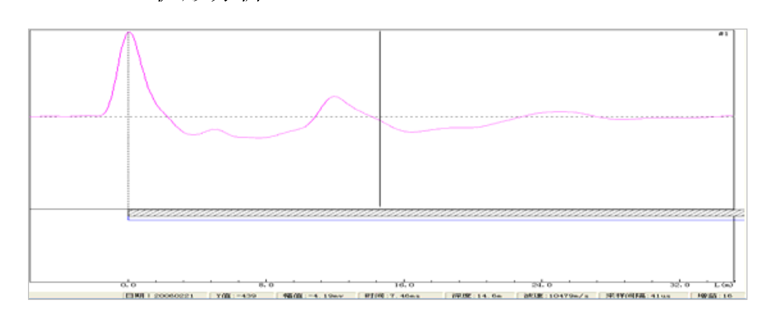

图 4.1.5

图 4.1.6

7) “→” / “←”: 微移光标

“，” / “。”: 快移光标

8) ⊏⊐或“*u*”: 桩形分析



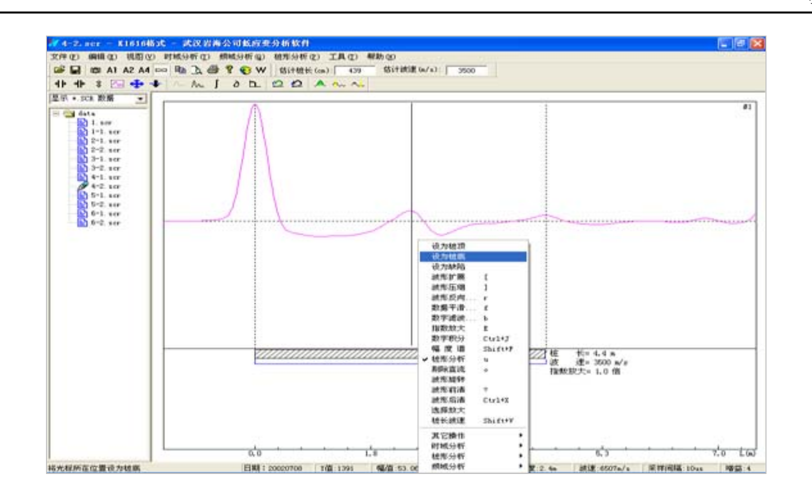
9) 估计桩长(cm): 891 估计波速(m/s): 4100

在工具栏框中输入设计桩长或波速。

10) “*v*”: 改变横坐标单位量纲(在时间 *t*、深度 *m* 坐标之间切换)

11) ： 定义桩头、桩底等

图 4.1.4



12) 或“*j*”：　积分 $\int a_{(t)}dt = v_{(t)} + C \quad \int v_{(t)}dt = s_{(t)} + C$

13) 或“*e*”：　指数放大

指数放大，连续介质体内质点的振动是随时间指数衰减的，均匀无限介质体内传播的一维平面应力波幅值也是随距离而呈指数衰减的，正因如此，在我们的测试信号中，包含有桩底反射的后期质点振动信号的幅值一般要比入射波质点振动信号的幅值低很多，以至于在同一计算机屏幕显示的前提下（分辨率最多只能有 *480* 个点），常常不易识别桩底反射信号。基于这种情况，岩海软件备有一指数放大功能(“*e*”)，以便在不影响入射波幅值的前提下，以随时间指数增大的方式放大尾部信号，确保在同一屏幕中桩底反射清晰可见。　“*e*”指令键后，须输入放大倍数并回车。

14) ：　选择放大。鼠标圈定需放大的区间后，按下左键不放并上下拖动。

15) “f”：　平滑。

图 4.1.7

平滑，它对于毛刺较多的信号尤为有效，键“*f*”程序提示“请输入平滑点数”，输入平滑点数并回车，即可完成操作，岩海软件中的平滑是将以某一点为中心的 *n*(输入的平滑点数)个值取平均并充入该点对应的值这一方式来进行的，因而平滑点数不可太大，而且如果一次平滑效果不佳时，还可反复进行，很显然，平滑是另外一种形式的数字滤波。

16) 或“空格键”：复原所有曲线。复原单个当前曲线

17) “|”　“：”　“{”　“}”：虚竖线光标以后的曲线旋转与归零

消除直流偏移量：

（1）　于曲线任意 *AB* 两点间设一加速度偏移量。*A* 点设为时间零点（或桩深度零点），将光标移至“*B*”点，然后键“{”，使 *B* 点幅值为零，曲线绕 *A* 点旋转。

（2）　让 *B* 点以后的曲线同时绕【*A* 点和曲线的尾部幅值零点】旋转归零以消除错误引入的加速度偏移量，仍让虚竖线光标在 *B* 点，然后键“|”。

岩海软件中的旋转归零，实际上有两个指令，其一为线性旋转归零如上例所用的“|”键，其物理概念是施加一恒定加速度偏移量；另一指令是“}”，为非线性旋转归零，其前提是施加一加速度值的同时确保拐点处加速度变化值连续，即速度信号的一阶微商连续，这也比较符合物理现象，它认为加速度信号的偏移应有一个连续暂变的过程。

结合旋转归零指令，岩海软件中尚备有一普通的线性旋转指令“"”【双　引号】，每按

动一次, *B* 点以后的曲线便可线性旋转一定角度。

18) 或“w”打印存盘为打印文件。




## 4.1.2) 如何排版打印

打印前必须操作步骤 *3.1.19*）形成打印文件【*.*wr0*】菜单“文件” ⇒ “打印设置”

(1) 打印任务

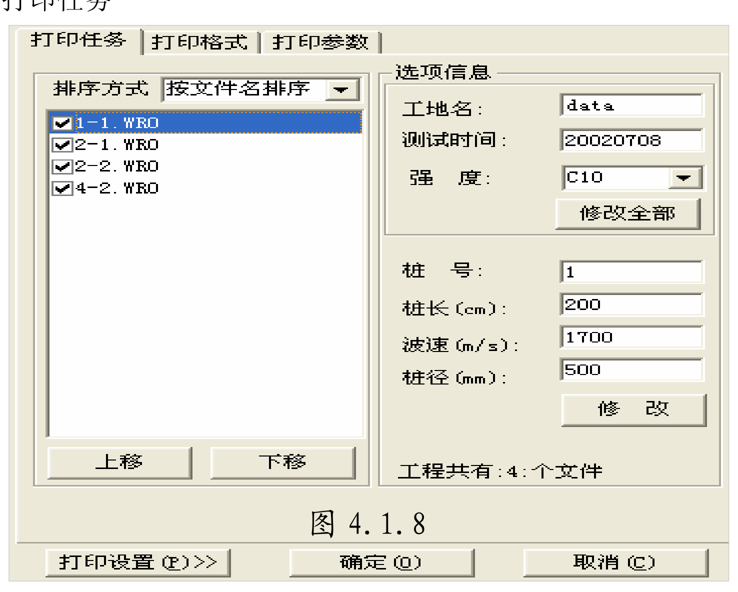



图 4.1.8

通过“上移”，“下移”你可以调整波形打印的前后顺序

在框内修改“工地名”、测试时间、强度、桩号、桩长、波速、桩径等参数。注意修改完成后必须点击“修改全部”或“修改”，否则打印出来的参数仍然是未修改的参数!

(2) 打印格式

打印任务 打印格式 打印参数

页眉设置 低应变桩基完整性检测附图

页码格式 1

页码位置 底部居中

起始页码 1

总 页 码 1

页面设置

上边距 12 mm

下边距 8 mm

左边距 16 mm

右边距 11 mm

列 数 1 个

行 数 5 个

线粗细 1 个

预览

打印设置 (P)>> 确定 (O) 取消 (C)

图 4.1.9

通过调整列数、行数你可以改变每页打印波形的条数。

调整页眉设置、页码格式、起始页码、总页码利于不同报告格式的编制。

(3) 打印参数

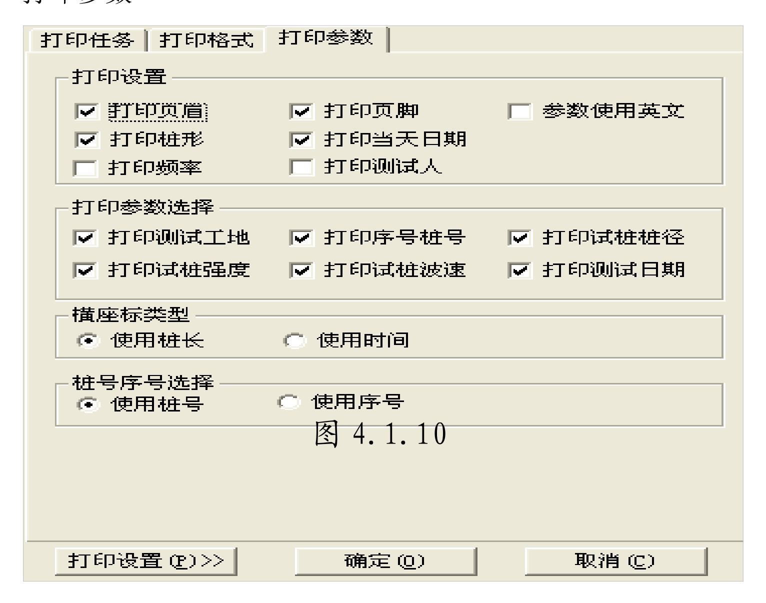
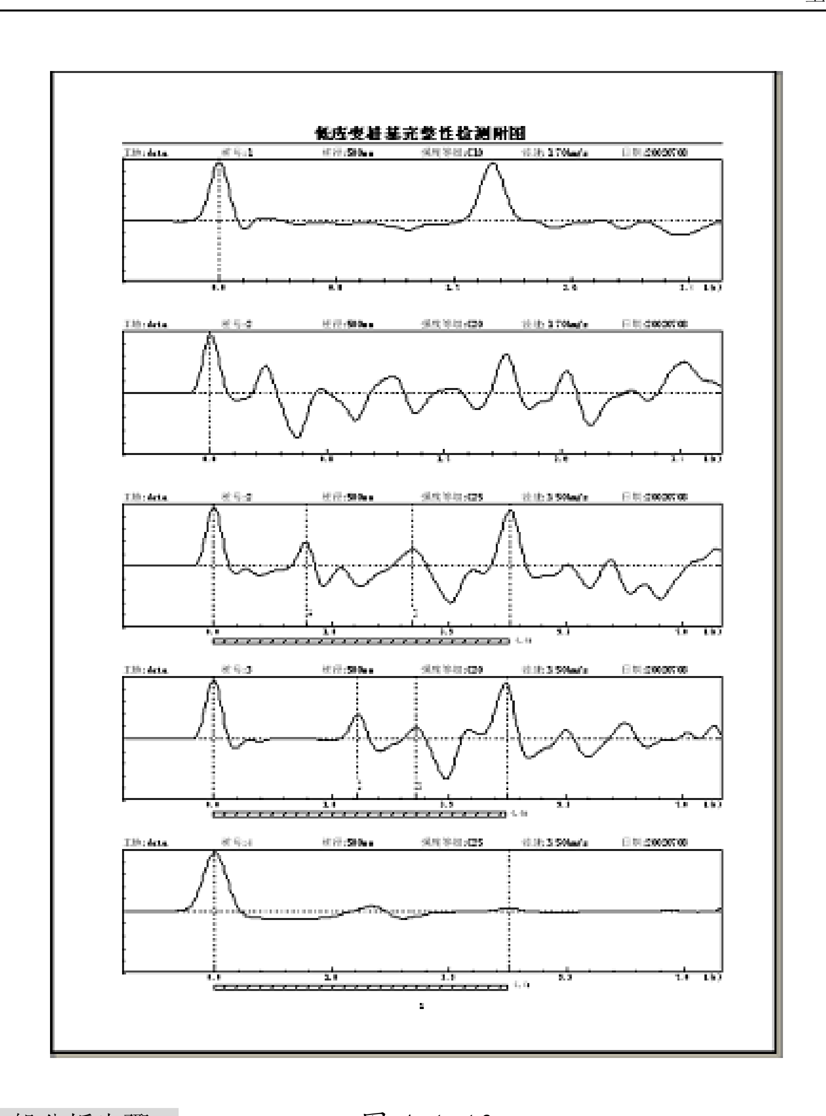



图 4.1.10

根据报告需要选择特定的参数。

(4) 打印预览

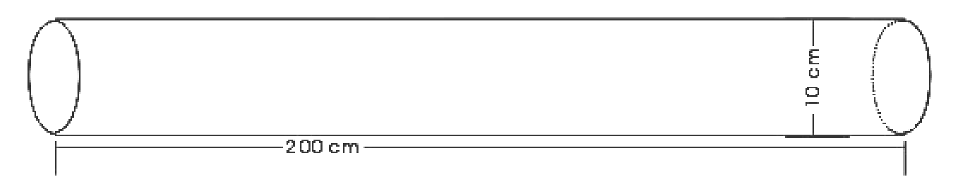
图 4.1.11



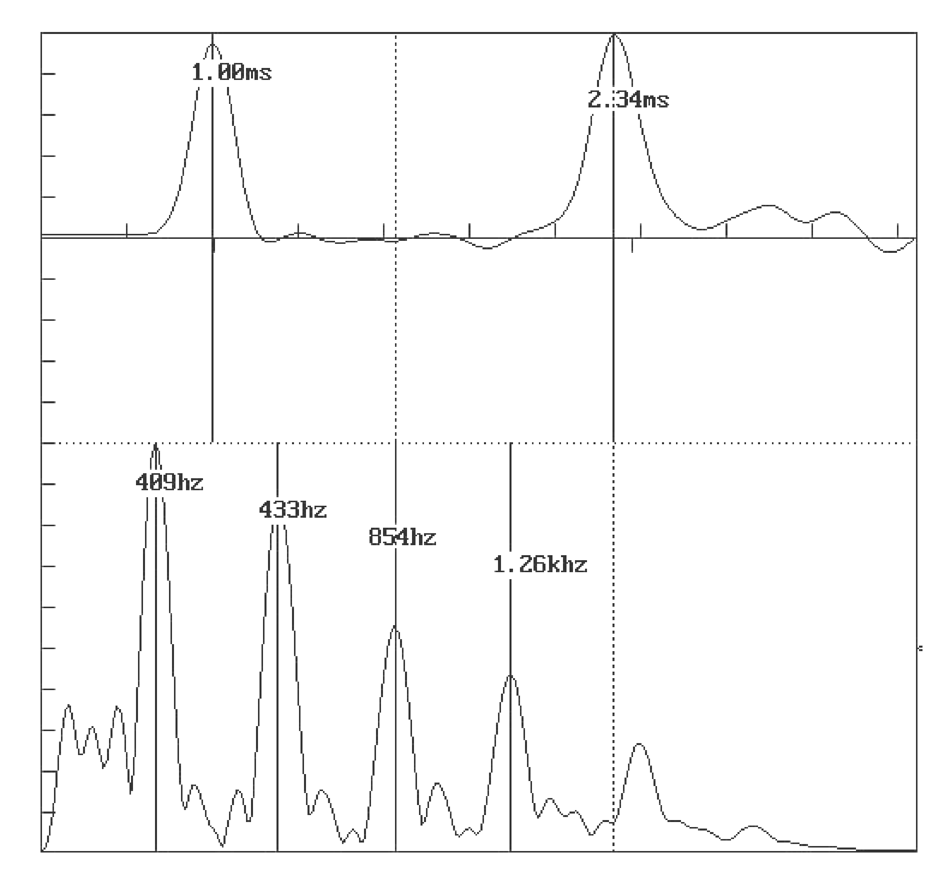

低应变一般分析步骤：　　　　图 4.1.12

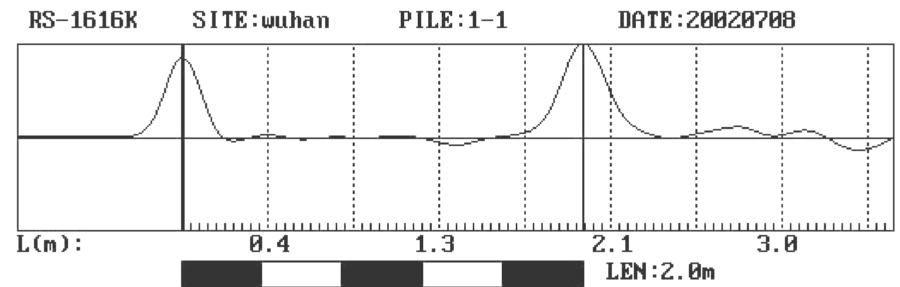
“1” ---> “3” ---> “9” ---> “10” ---> “12”--->“19”可使用右键功能菜单

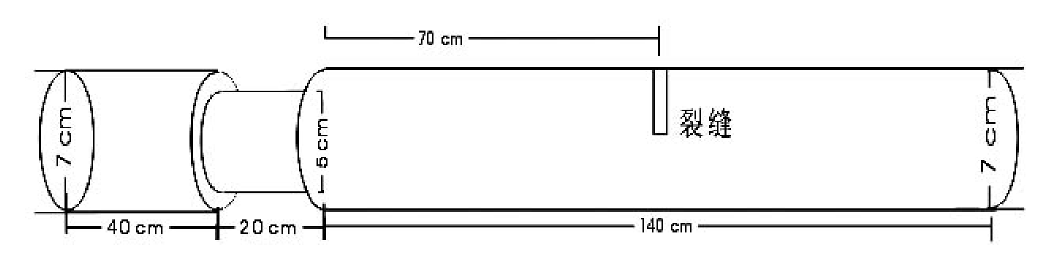
# 模 型 桩 典 型 缺 陷 图 解



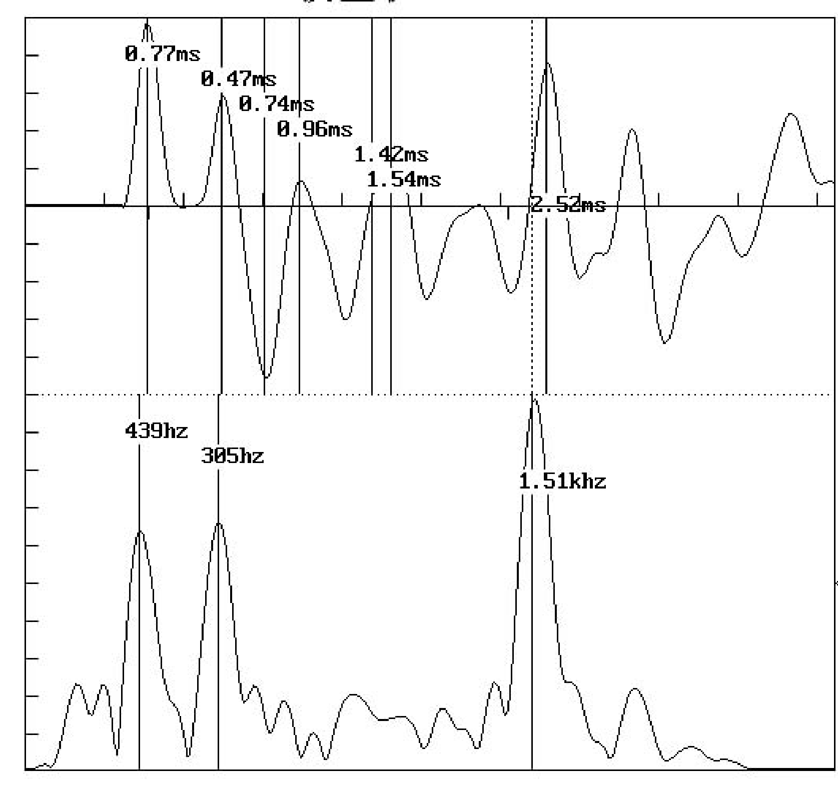

模型桩 1-1#

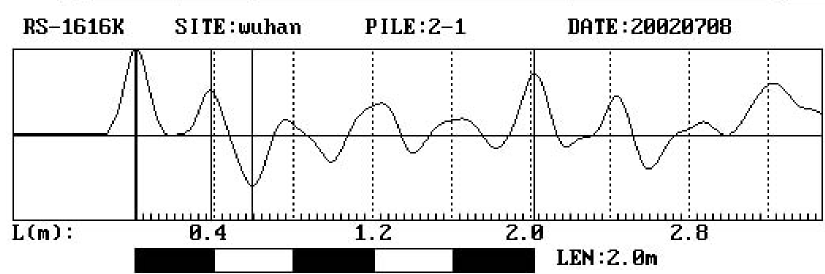


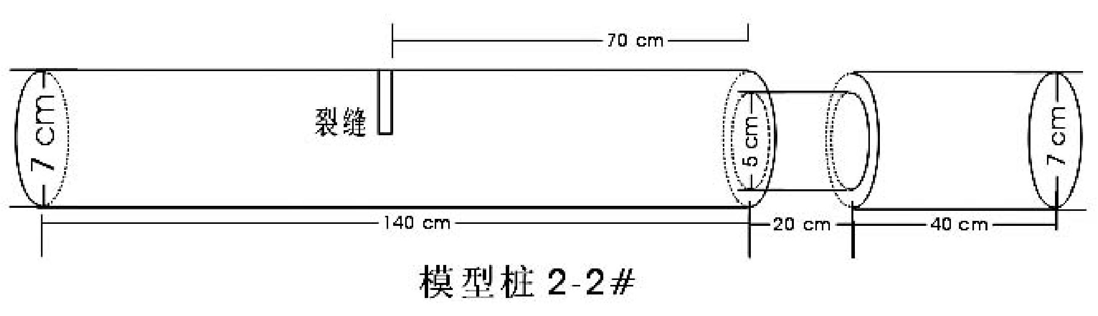




70 cm
裂缝
7 cm
5 cm
7 cm
40 cm
20 cm
140 cm

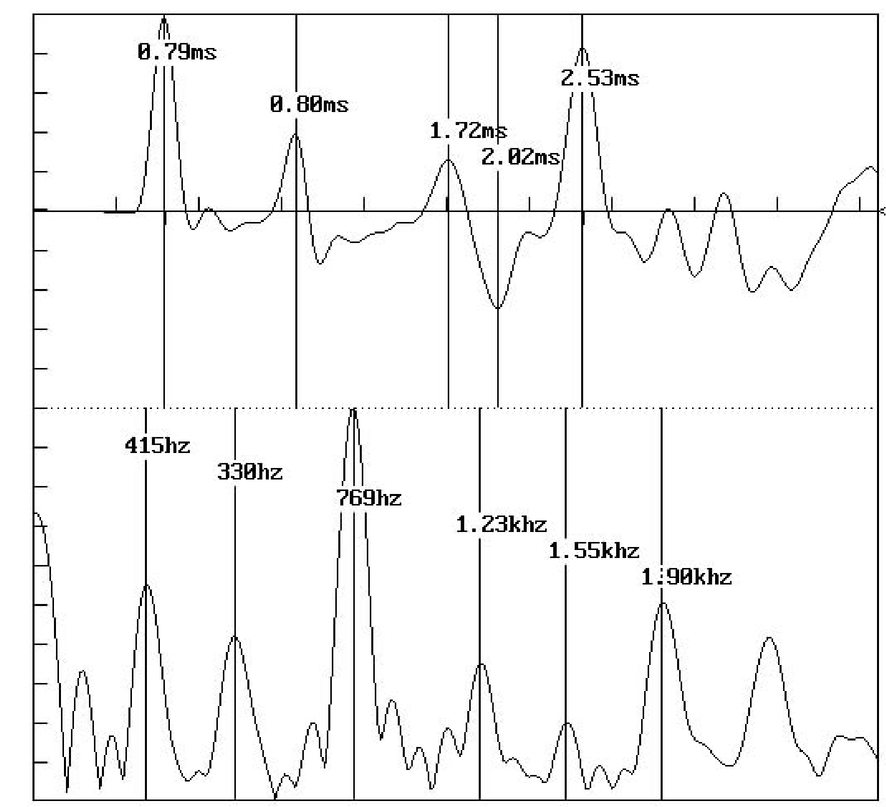
模型桩 2-1#

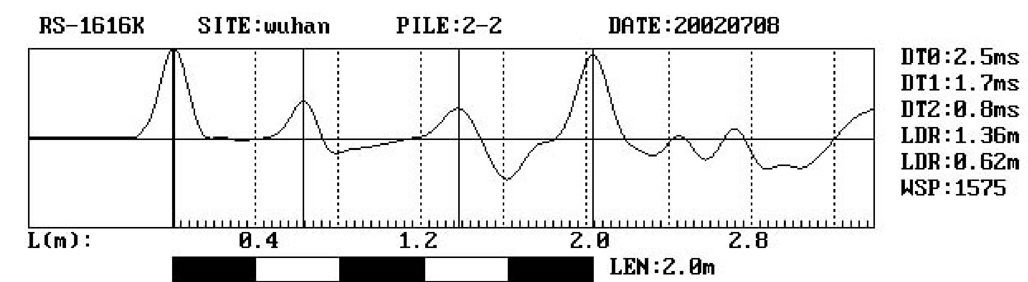

0.77ms
0.47ms
0.74ms
0.96ms
1.42ms
1.54ms
2.52ms
439hz
305hz
1.51khz


RS-1616K SITE:wuhan PILE:2-1 DATE:20020708
DT0:2.5ms
DT1:0.7ms
DT2:0.5ms
LDR:0.59m
LDR:0.38m
WSP:1587
L(m): 0.4 1.2 2.0 2.8
LEN:2.0m


70 cm
裂缝
7 cm
5 cm
7 cm
140 cm
20 cm
40 cm

模型桩 2-2#


0.79ms
0.80ms
1.72ms
2.02ms
2.53ms
415hz
330hz
769hz
1.23khz
1.55khz
1.90khz


RS-1616K SITE:wuhan PILE:2-2 DATE:20020708
DT0:2.5ms
DT1:1.7ms
DT2:0.8ms
LDR:1.36m
LDR:0.62m
WSP:1575
L(m): 0.4 1.2 2.0 2.8
LEN:2.0m

7 cm
4 cm
5 cm
7 cm
40 cm
20 cm
40 cm
100 cm

模型桩 3-1#

0.82ms
0.49ms
1.00ms
1.26ms
2.53ms
317hz
446hz
873hz
1.28khz
1.62khz

RS-1616K SITE:wuhan PILE:3-1 DATE:20020708

DT0:2.5ms
DT1:1.3ms
DT2:0.5ms
LDR:1.00m
LDR:0.39m
WSP:1600

L(m): 0.4 1.2 2.0 2.8
LEN:2.0m

7 cm　100 cm　5 cm　40 cm　4 cm　20 cm　7 cm　40 cm

模型桩 3-2#

0.80ms　1.23ms　1.72ms　1.98ms　2.49ms

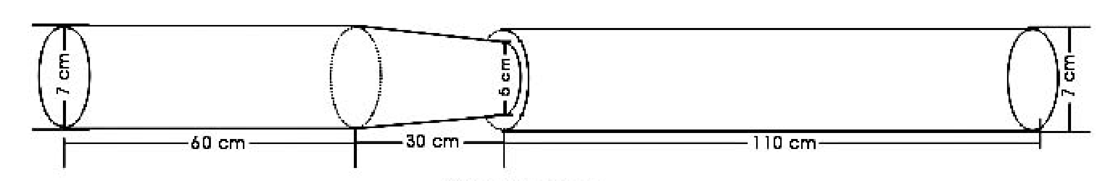
409hz　415hz　800hz　1.25khz　1.59khz　1.92khz

RS-1616K　SITE:wuhan　PILE:3-2　DATE:20020715

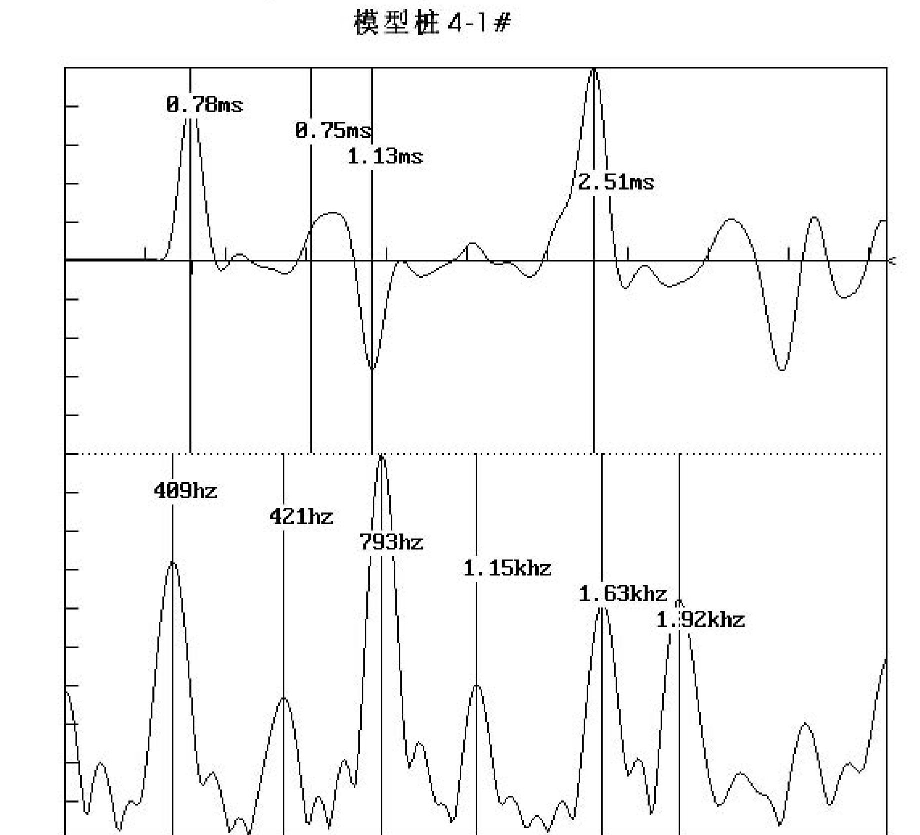
DT0:2.5ms
DT1:2.0ms
DT2:1.3ms
LDR:1.59m
LDR:0.99m
WSP:1587

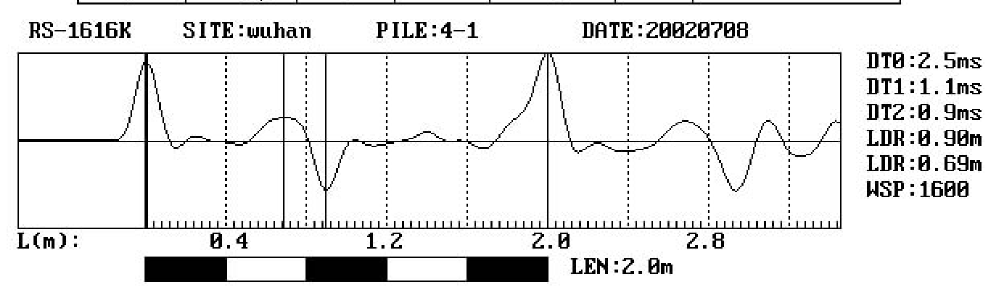
L(m):　0.4　1.2　2.0　2.8

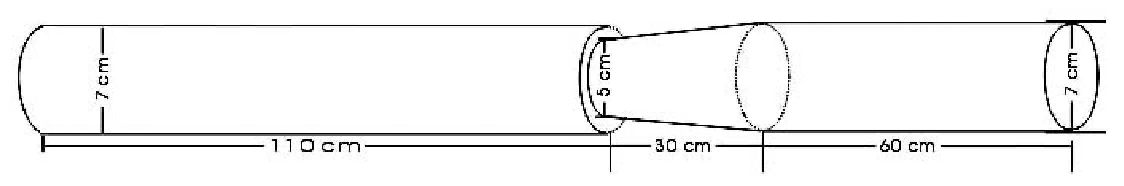
LEN:2.0m


7 cm
60 cm
30 cm
6 cm
110 cm
7 cm

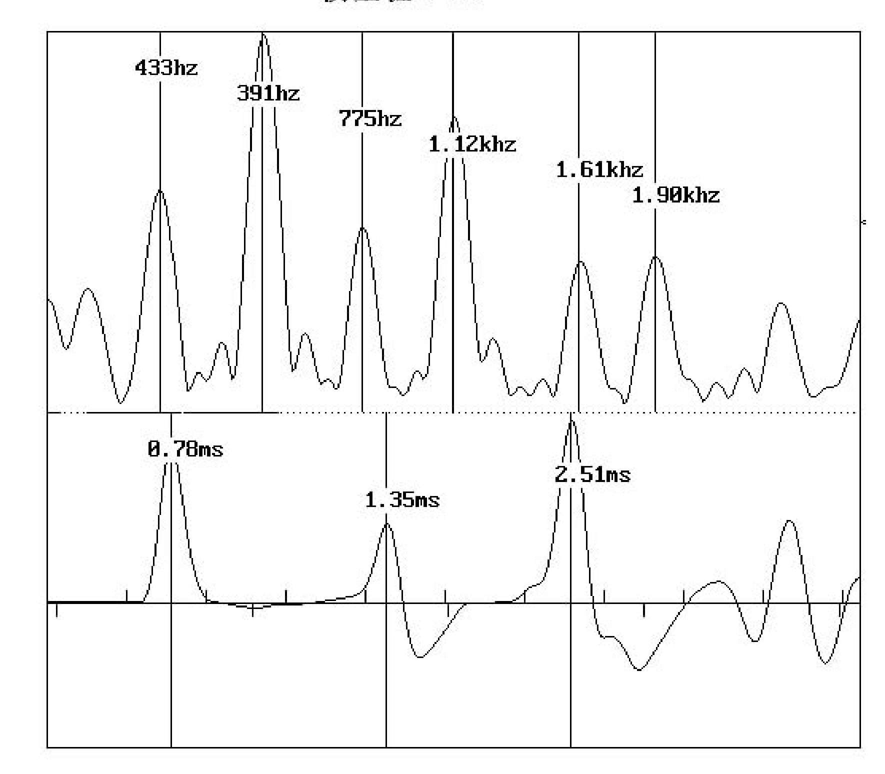
模型桩 4-1#

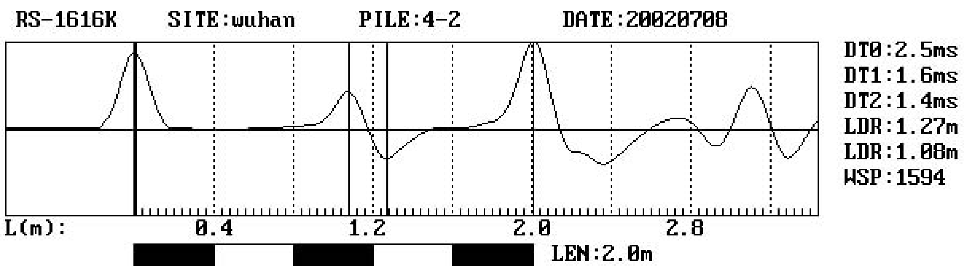

0.78ms
0.75ms
1.13ms
2.51ms
409hz
421hz
793hz
1.15khz
1.63khz
1.92khz

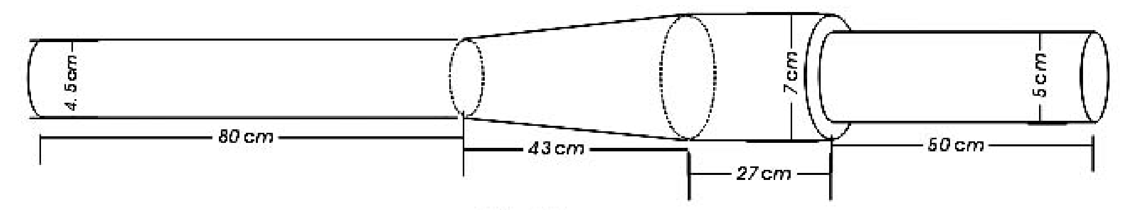

RS-1616K SITE:wuhan PILE:4-1 DATE:20020708
DT0:2.5ms
DT1:1.1ms
DT2:0.9ms
LDR:0.90m
LDR:0.69m
WSP:1600
L(m):
0.4
1.2
2.0
2.8
LEN:2.0m


7 cm
5 cm
7 cm
110 cm
30 cm
60 cm

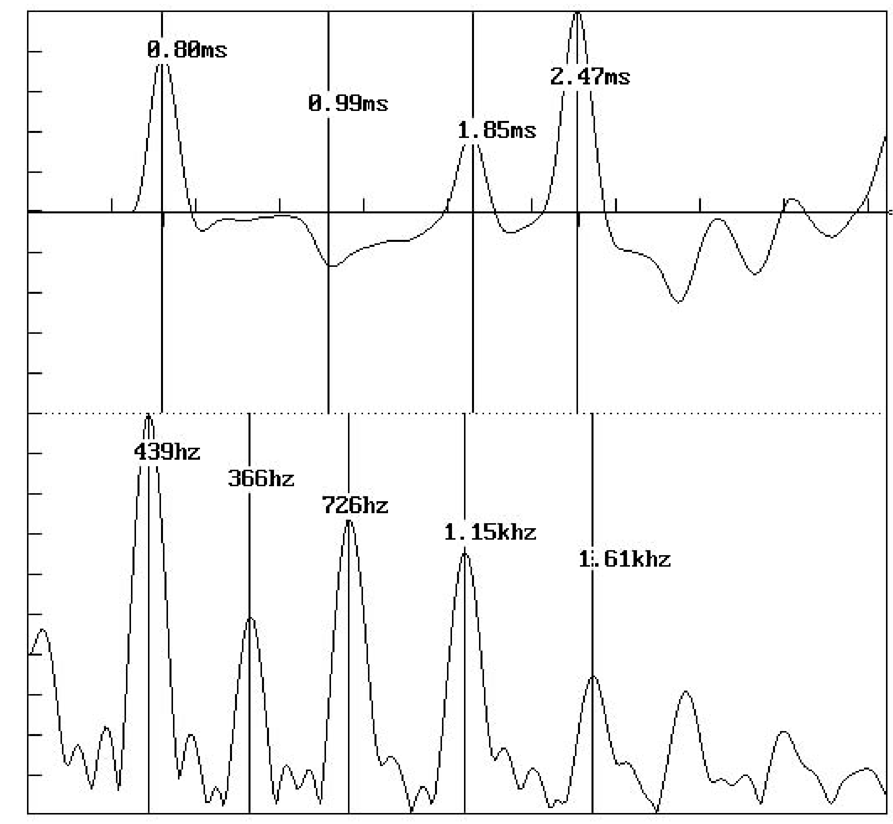
模型桩 4-2#

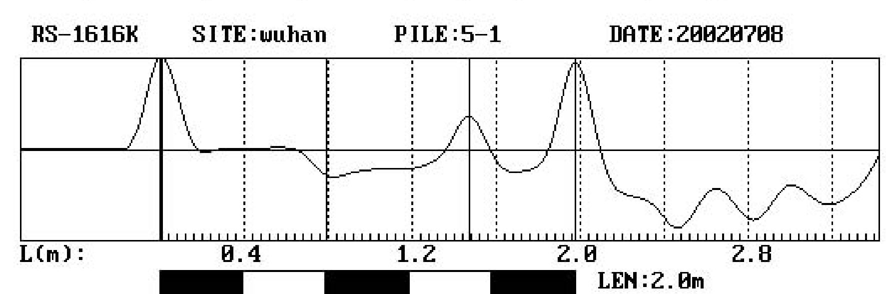

433hz
391hz
775hz
1.12khz
1.61khz
1.90khz
0.78ms
1.35ms
2.51ms


RS-1616K
SITE:wuhan
PILE:4-2
DATE:20020708
DT0:2.5ms
DT1:1.6ms
DT2:1.4ms
LDR:1.27m
LDR:1.08m
WSP:1594
L(m):
0.4
1.2
2.0
2.8
LEN:2.0m


4.5cm
80cm
43cm
27cm
7cm
5cm
50cm

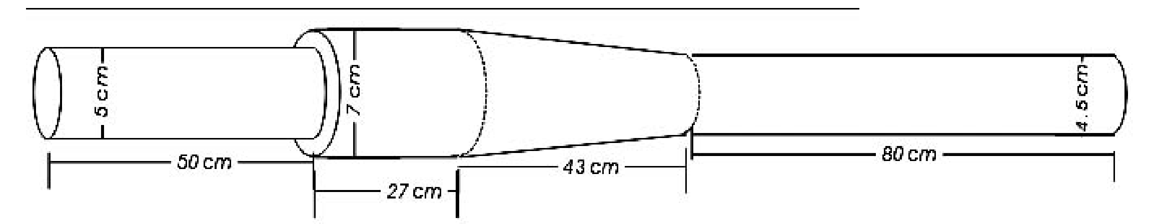
模型桩 5-1#


0.80ms
0.99ms
1.85ms
2.47ms
439hz
366hz
726hz
1.15khz
1.61khz

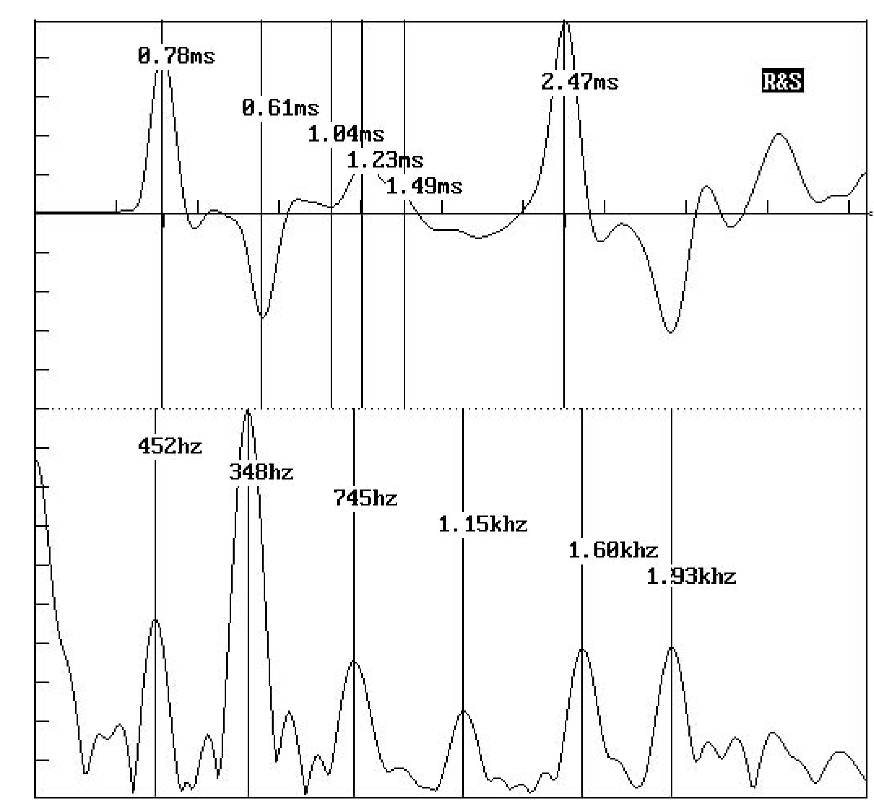

RS-1616K SITE:wuhan PILE:5-1 DATE:20020708
DT0:2.5ms
DT1:1.8ms
DT2:1.0ms
LDR:1.49m
LDR:0.80m
WSP:1619
L(m): 0.4 1.2 2.0 2.8
LEN:2.0m

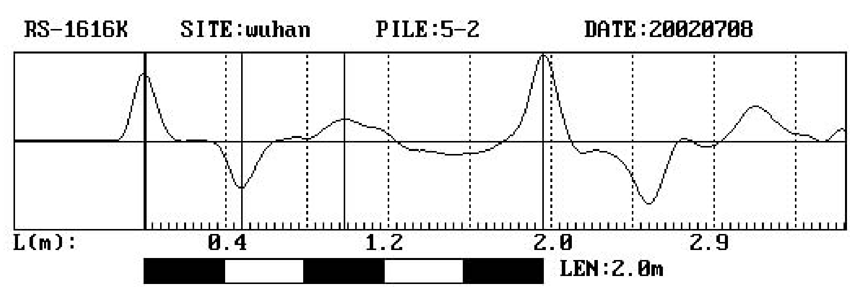


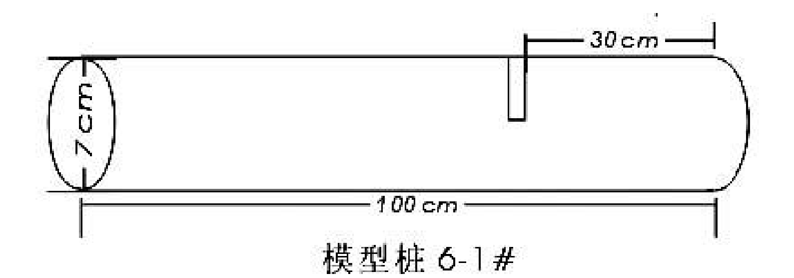


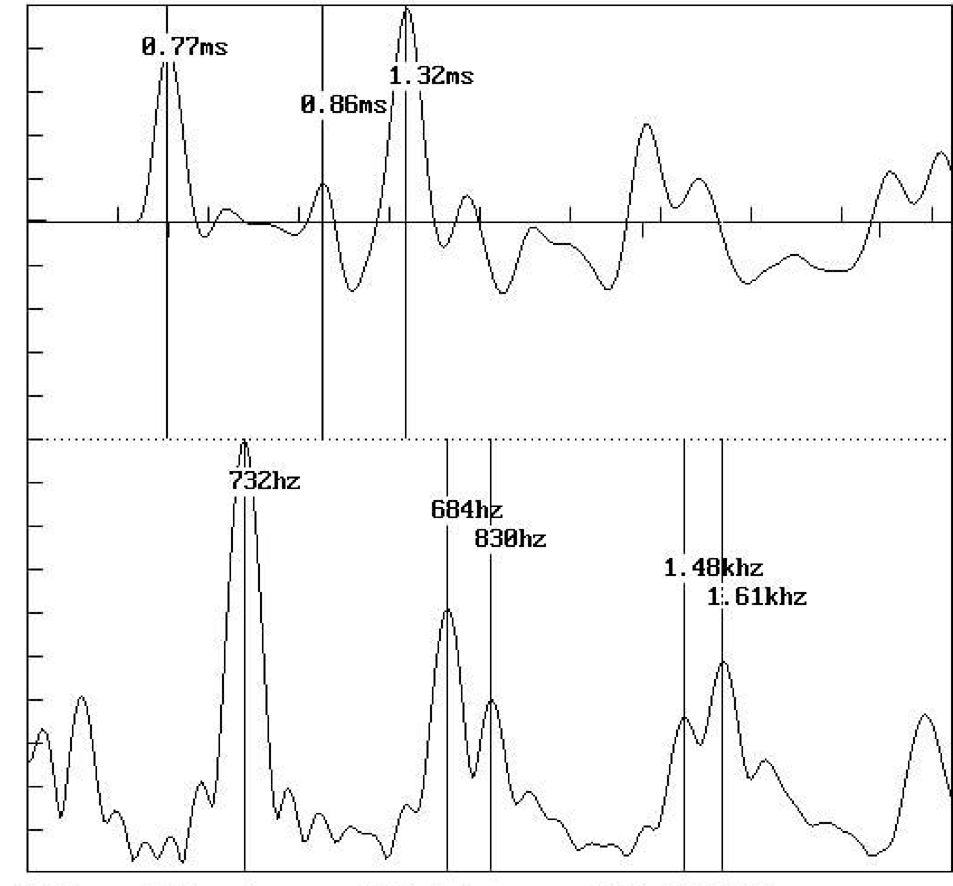

5 cm
7 cm
4.5 cm
50 cm
27 cm
43 cm
80 cm

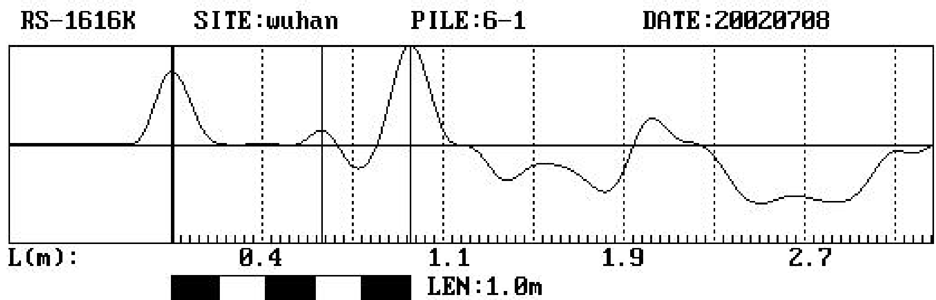
模型桩 5-2#


0.78ms
0.61ms
1.04ms
1.23ms
1.49ms
2.47ms
R&S
452hz
348hz
745hz
1.15khz
1.60khz
1.93khz


RS-1616K
SITE:wuhan
PILE:5-2
DATE:20020708
DT0:2.5ms
DT1:1.2ms
DT2:0.6ms
LDR:1.00m
LDR:0.49m
WSP:1633
L(m):
0.4
1.2
2.0
2.9
LEN:2.0m


30cm
7cm
100cm
模型桩 6-1#


0.77ms
1.32ms
0.86ms
732hz
684hz
830hz
1.48khz
1.61khz


RS-1616K
SITE:wuhan
PILE:6-1
DATE:20020708
DT0:1.3ms
DT1:0.0ms
DT2:0.8ms
LDR:0.01m
LDR:0.63m
WSP:1515
L(m):
0.4
1.1
1.9
2.7
LEN:1.0m

30cm

7cm

100cm

模型桩 6-2#

0.80ms
0.33ms
0.63ms
1.31ms
R&S

732hz
812hz
1.60khz
2.27k

RS-1616K SITE:wuhan PILE:6-2 DATE:20020708

DT0:1.3ms
DT1:0.6ms
DT2:0.3ms
LDR:0.48m
LDR:0.25m
WSP:1538

L(m): 0.4 1.2 1.9 2.7

LEN:1.0m